

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

В. И. Иевлев
Г. А. Филиппов

**КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ
ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ЭВМ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Рекомендовано методическим советом университета
в качестве **учебного пособия** для студентов, обучающихся по направлениям
230100 – Информатика и вычислительная техника,
211000 – Конструирование и технология электронных средств*

Екатеринбург
УрФУ
2013

УДК 004.7(075.8)
ББК 32.973.202я73
ИЗ0

Рецензенты:

*кафедра информатики и вычислительной техники
Уральского института экономики, управления и права,
зав. кафедрой проф. А. Г. Жигалин;
д-р техн. наук, проф. В. Г. Лисиенко,
Академия инженерных наук им. А. М. Прохорова*

Научный редактор – канд. техн. наук Г. П. Менщиков

Иевлев, В. И.

**ИЗ0 Качество и надежность электронной компонентной базы ЭВМ
специального назначения: учебное пособие / В. И. Иевлев,
Г. А. Филиппов. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 102 с.**

ISBN 978–5–321–02333–4

Рассмотрены вопросы качества, надежности, а также системы управления качеством электронной компонентной базы ЭВМ специального назначения.

Предназначено для студентов направлений: 230100 – Информатика и вычислительная техника и 211000 – Конструирование и технология электронных средств.

Библиогр.: 64 назв. Табл. 15. Рис. 22. Прил. 1.

УДК 004.7(075.8)
ББК 32.973.202я73

ISBN 978–5–321–02333–4

© Уральский федеральный
университет, 2013
© Иевлев В. И., 2013
© Филиппов Г. А., 2013

ВВЕДЕНИЕ

В конце 1950-х гг. (годы «холодной войны») в СССР получило активное развитие специфическое направление вычислительной техники для военных систем – ЭВМ специального назначения (ЭВМ СН).

Это направление почти одновременно начало формироваться в нескольких проблемно-ориентированных областях для создания сухопутных, авиационных, морских, ракетных и других систем. Для последующего развития существенными оказались требования заказчиков из различных областей применения. Было выделено три основные группы климатических и механических условий работы компьютеров в военной области [62]:

1. Работа компьютера в стационарных условиях – в помещениях и вне их.
2. Работа компьютеров в прицепах или контейнерах, которые транспортируются воздушным, железнодорожным, автомобильным транспортом и включаются в работу после установки на позиции.
3. Работа компьютеров, установленных на подвижных объектах в процессе их перемещения.

Деление на группы связано с большой разницей в требованиях к условиям работы аппаратуры и в стоимости их разработки и производства. Экономически создание унифицированного компьютера, удовлетворяющего требованиям всех групп, было весьма расточительным, так как приводило к увеличению затрат в среднем в 5–7 раз по сравнению с затратами на разработку отдельной группы.

В настоящее время в зависимости от условий эксплуатации **аппаратуру военного назначения подразделяют на шесть классов** [14].

Класс 1. Аппаратура наземной техники (аппаратура стационарных помещений, специальных фортификационных сооружений, объектов на колесных и гусеничных шасси, железнодорожных платформах).

Класс 2. Аппаратура морской техники (аппаратура надводных кораблей, катеров и кораблей на подводных крыльях и воздушных подушках, подводных лодок, экранопланов и других аналогичных летательных аппаратов, неподвижных и ограниченно подвижных средств, реактивных глубинных бомб, торпед и противолодочных ракет, выносных частей стационарных гидроакустических средств).

Класс 3. Бортовая аппаратура авиационной техники (аппаратура вертолетов, дозвуковых и сверхзвуковых самолетов, гиперзвуковых летательных аппаратов, воздушно-космических летательных аппаратов, реализующих гиперзвуковые трансатмосферные и суборбитальные режимы полета).

Класс 4. Бортовая аппаратура ракетной техники (аппаратура авиационных ракет, зенитных управляемых ракет, противоракет, противотанковых управляемых ракет, крылатых, тактических, оперативно-тактических и баллистических ракет).

Класс 5. Бортовая аппаратура космической техники (аппаратура, устанавливаемая в бытовых и приборных отсеках, а также на внешней поверхности пилотируемых и автоматических космических аппаратов).

Аппаратура пятого класса подразделяется на группы исполнения (5А...5Д), в зависимости от времени активного существования (ресурса): 5А – до 10000 ч, 5Б – 10000...30000 ч, 5В – 30000...70000 ч, 5Г – свыше 70000 ч, 5Д – по ТТЗ (ТЗ).

Класс 6. Аппаратура боеприпасов артиллерии (аппаратура снарядов полевой и зенитной артиллерии, авиационных снарядов, морской артиллерии, неуправляемых и управляемых реактивных снарядов).

Аппаратура всех классов должна быть стойкой, прочной и устойчивой к внешним воздействующим факторам, характеристики которых приведены в табл. В.1.

Одной из главных проблем создания ЭВМ СН была и остается проблема элементной базы¹.

ЭКБ ЭВМ СН должна обладать достаточным быстродействием и выполнять свои функции по хранению, преобразованию, обработке и передаче электрических сигналов в широком диапазоне температур, высокой влажности и различных механических нагрузках (вибрация, удары).

Известно, что надежность функционирования любых ЭВМ в значительной степени зависит от качества и надежности применяемой ЭКБ, а также степени жесткости условий эксплуатации.

¹ В настоящее время чаще используется термин «электронная компонентная база» (ЭКБ).

Таблица В.1

Значения воздействующих факторов для аппаратуры различных классов

Воздействующий фактор (ВФ)	Характеристика ВФ	Значение воздействующего фактора для классов аппаратуры					
		1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8
Синусоидальная вибрация	Амплитуда ускорения, м/с ² (g)	20-100 (2-10)	10-300 (1-30)	По ТЗ		100(10)	100-150 (10-15)
	Диапазон частот, Гц	1-300	1-2000	По ТЗ		5-2000	1-200
Случайная широкополосная вибрация	Среднеквадратическое значение ускорения, м/с ² (g)	По ТЗ			50-500 (5-50)	По ТЗ	
	Диапазон частот, Гц				20-2000	20-2000	
Акустический шум	Диапазон частот, Гц	50-10000	По ТЗ	50-10000		150-10000	50-100
	Уровень звукового давления, дБ	100-135	По ТЗ	130-150	50-10000	150	150-170
Механический удар одиночного действия	Пиковое ударное ускорение, м/с ² (g)	200-30000 (20-3000)	По ТЗ	150 (15)	600-5000 (60-500)	1500(150)	5·10 ⁴ -8·10 ⁵ (5·10 ³ -8·10 ⁴)
	Длительность действия ударного ускорения, мс	0,2-15	0,5-2	По ТЗ	0,3-6	0,3-1	
Механический удар многократного действия	Пиковое ударное ускорение, м/с ² (g)	150-1500 (15-150)	60-150 (6-15)	По ТЗ	30-400 (3-40)	50(5)	
	Длительность действия ударного ускорения, мс	1-15	5-20	По ТЗ	200-300	2-10	
Снеговая нагрузка	Давление, кг/м ²	По ТЗ					
Линейное ускорение	Значение ускорения, м/с ² (g)		50 (5)	По ТЗ	По ТЗ	150(15)	
Виброудар одиночного действия	Ускорение, м/с ² (g)			150 (15) или по ТЗ	600-5000 (60-500)		
	Длительность воздействия, мс			По ТЗ	20-600		
Виброудар многократного действия	Ускорение, м/с ² (g)				30-300 (3-30)		
	Длительность воздействия, мс				200-300		
Сейсмический удар	Ускорение, м/с ² (g)	По ТЗ					

Продолжение табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Статическая пыль (песок)	Концентрация, г/м ³	5±2	По ТЗ	3	По ТЗ		По ТЗ
	Скорость воздуха (циркуляции), м/с	1		0,5-1			
Динамическая пыль (песок)	Концентрация, г/м ³	5±2	По ТЗ	5	По ТЗ		По ТЗ
	Скорость воздуха (циркуляции), м/с	15		10-15			
Воздушный поток	Среднее значение скорости, м/с	30					По ТЗ
	Максимальное значение скорости, м/с	50					
Качка	Амплитуда качки, град		±(30-45)				
	Период, с		7-16				
Наклон: - длительный - кратковременный (3 мин.)	Максимальный угол наклона, град		15 30				
Вода, брызги			По ТЗ				
Повышенная влажность воздуха	Относительная влажность воздуха, % (при температуре, °С)	98-100 (25-35)	98-100 (35-50)	100 (35)	100 (35)	98 (20-25)	100 (35)
Пониженная влажность воздуха	Относительная влажность воздуха, % (при температуре, °С)	20 (30)		20 (30)	20 (30)		
Повышенная температура среды	Рабочая, °С	40-125	35-100	55-70	55-60	40-125	50-55
	Предельная, °С	60-125	70-120	85	65-85	35-125	60-70
Пониженная температура среды	Рабочая, °С	-50	-40...0	-60	-55...-50	-150...-10	-50...-40
	Предельная, °С	-65	-50	-65	-65	-150...+5	-60...-50
Повышенное давление воздуха или газа	Значение. при эксплуатации, Па (мм. рт. ст.)	98-100 (25-35)	98-100 (35-50)	100 (35)	100 (35)	(1,3-3,1)·10 ⁵ (1000-2300)	100 (35)
Атмосферное пониженное давление	Значение. при эксплуатации, Па (мм. рт. ст.)	6·10 ⁴ (450)		670-46700 (5-350)	670 (5)	1,3·10 ⁻¹¹ -4,7·10 ⁴ (10 ⁻¹³ -350)	670- 12000 (5-90)

Окончание табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Солнечное излучение	Плотность потока, Вт/м ² : - интегральная -ультрафиолетового излучения	1120 68	1120 68	1120 68	1120 68	1400 140	1120 68
Атмосферные выпа- дающие осадки (дождь)	Верхнее значение интенсивности эксплуатации, мм/мин	5-15			По ТЗ		по ТЗ
Атмосферные кон- денсированные осадки (иней и роса)		По ТЗ					
Компоненты ракет- ного топлива: - амил - гептил	Верхнее значение массовой концентрации, мг/м ³	5 0,5				5 0,5	5
Рабочие дегазирую- щие растворы	Поверхностная плотность орошения, л/м ²	0,5	0,5	0,5			
	Кратность воздействия, раз	4	4				
Агрессивные среды: - сернистый газ - сероводород - аммиак - двуокись азота - озон	Концентрация, мг/м ³	2,0 1,0 1,0 2,0 0,1	2,0 1,0 1,0 2,0	2,0 1,0 1,0 2,0 0,1	1,0 2,0		
Соляной (морской) туман		По ГОСТ РВ 20.57.306					
Плесневые грибы		По ГОСТ 28206					

1. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

1.1. Показатели качества ЭКБ

Общепринятого определения понятия «качество» в настоящее время не существует. Чаще всего используется следующая формулировка: «качество» – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением» [1].

Совокупность свойств не может быть плохой или хорошей вообще. Качество может быть только относительным. Если необходимо дать оценку качества продукции, то надо сравнить данный набор свойств (совокупность свойств) с каким-то эталоном. Эталоном могут быть лучшие отечественные или международные образцы, требования, закрепленные в стандартах или технических условиях. При этом применяется термин «уровень качества» (в зарубежной литературе – «относительное качество», «мера качества»).

Но любой документ или эталон узаконивает определенный набор свойств и характеристик лишь на какой-то период времени, а потребности непрерывно меняются, поэтому предприятие, изготавливая продукцию даже в точном соответствии с нормативно-технической документацией, рискует выпускать ее некачественной, не устраивающей потребителя.

Таким образом, основное место в оценке качества продукции или услуг отводится потребителю, а стандарты, законы и правила (в том числе и международные) лишь закрепляют и регламентируют прогрессивный опыт, накопленный в области качества [24].

Для оценки качества продукции используются различные показатели, которые представляют собой количественные характеристики одного или нескольких свойств продукции, входящих в ее качество и рассматриваемые применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации или потребления [1].

Показатели качества могут оценивать продукцию по одному из ее свойств (единичные показатели) или по нескольким ее свойствам (комплексные показатели).

Наиболее широко в практике оценки уровня качества ЭКБ используются единичные показатели, поскольку они легко поддаются сравнению и контролю. Единичные показатели качества принято классифицировать (рис. 1.1) [22].

К *экономическим* показателям относятся: капиталовложения в производство, капиталовложения в эксплуатацию, себестоимость единицы продукции, отпускная или рыночная цена.

К *эксплуатационным* показателям относятся: массо-габаритные параметры, электрические характеристики и т.д.

К *производственно-технологическим* относятся показатели унификации, стандартизации, технологичности и т.д.

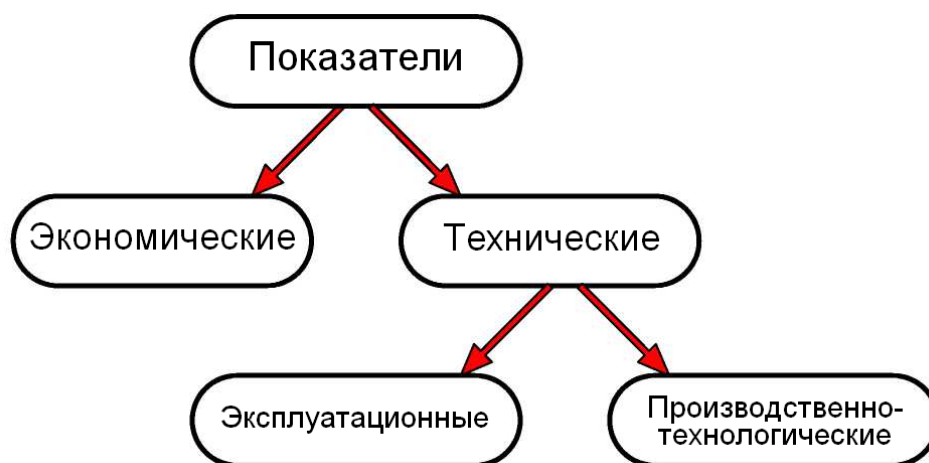


Рис. 1.1. Классификация единичных показателей качества

Показатели качества как потенциальные возможности ЭКБ закладываются при ее конструировании. В процессе изготовления вследствие нестабильности свойств исходных материалов и технологического процесса параметры ЭКБ, как правило, имеют некоторый разброс (рассеивание). В дальнейшем в зависимости от условий эксплуатации характеристики ЭКБ (особенно – электрические) могут изменяться в довольно широких пределах.

Процесс формирования основных показателей качества ЭКБ, например, цифровой интегральной схемы (ИС), может быть представлен в виде модели типа «черный ящик» (рис. 1.2) и в виде аналитического выражения

$$\mathbf{Y} = F\{\mathbf{X}, \mathbf{MF}, \mathbf{DF}, \mathbf{UF}, U, T\}, \quad (1.1)$$

где \mathbf{X} – k -мерный вектор, представляющий собой входные электрические сигналы, подаваемые на вход ИС;

\mathbf{MF} (manufacturing factors – производственные факторы) – m -мерный вектор, учитывающий влияние нестабильности свойств исходных материалов и технологического процесса изготовления ИС;

\mathbf{DF} (destabilizing factors – дестабилизирующие факторы) – n -мерный вектор, учитывающий влияние внешних и внутренних дестабилизирующих факторов (электрических, тепловых и магнитных полей, механических, климатических и радиационных воздействий и т.д.);

\mathbf{UF} (unknown factors – неизвестные факторы) – p -мерный вектор, учитывающий влияние неизвестные (на сегодня) факторов, которые играют роль возмущений;

U – напряжение питания ИС;

T – время «жизни» ИС (после изготовления);

\mathbf{Y} – l -мерный вектор, представляющий собой группу показателей качества ИС (например, электрические параметры);

F – функция, характеризующая преобразующую систему – объект типа «черный ящик»; определяется конструкцией ИС.

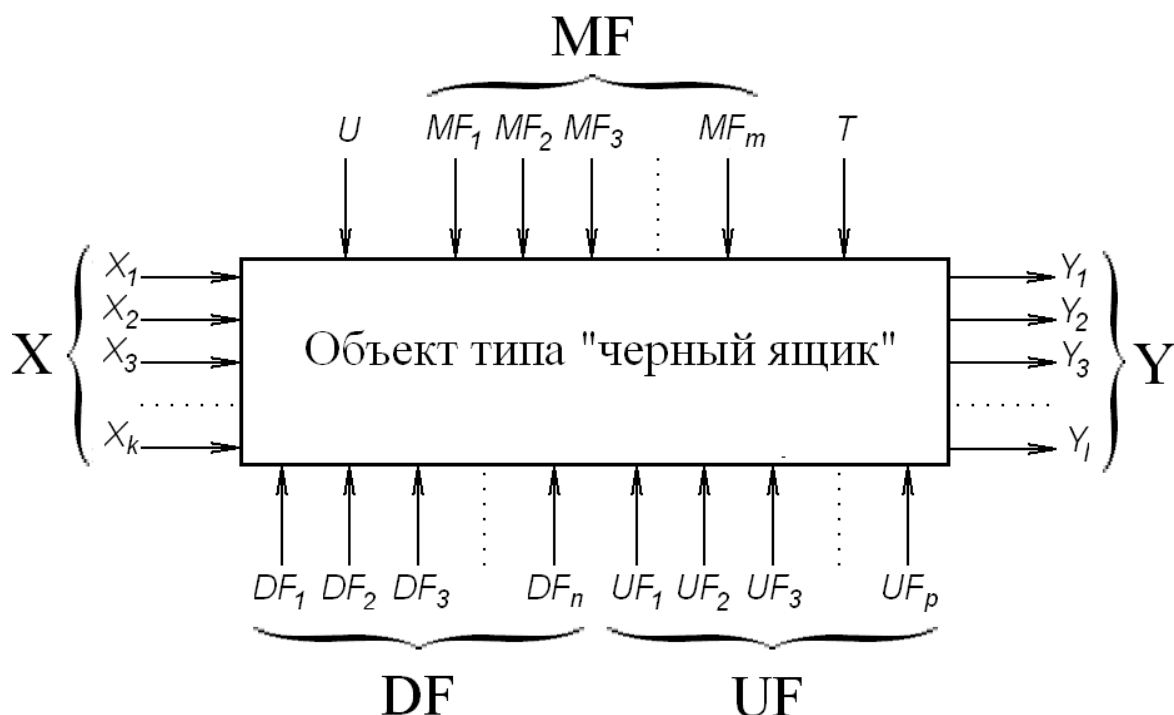


Рис. 1.2. Модель процесс формирования основных показателей качества ЭКБ

После изготовления ЭКБ подвергается контролю на соответствие требованиям конструкторской документации (КД) и технических условий (ТУ).

Вследствие действия случайных факторов **MF** и **UF** в партии ИС, изготовленных в одинаковых условиях, каждый из контролируемых параметров y_i будет иметь некоторый разброс значений (рис. 1.3).

Разброс значений выходных параметров будут также наблюдаться для изделий нескольких партий, изготовленных по одной и той же конструкторской и технологической документации. Основная причина такого разброса – нестабильность свойств исходных материалов и полуфабрикатов (характеристик полупроводниковых подложек, пленочных и проволоочных проводников, корпусов и т.д.), а также нестабильность самих технологических процессов изготовления ИС (работы оборудования, технологических режимов, физико-химических процессов, протекающих в полупроводнике, и т.д.).

В любой партии ИС, как правило, находятся изделия, параметры которых не удовлетворяют требованиям КД (т.е. подлежат отбраковке). В зависимости от требований КД при определении годных ИС возможны три варианта. Годными считаются ИС, у которых контролируемые значения i -го показателя качества лежат:

- 1) выше наименьшего допустимого значения, т.е.

$$y_i \geq y_i'';$$

2) ниже наибольшего допустимого значения, т.е.

$$y_i \leq y_i^6;$$

3) между наименьшим и наибольшим допустимыми значениями, т.е.

$$y_i^H \geq y_i \geq y_i^6.$$

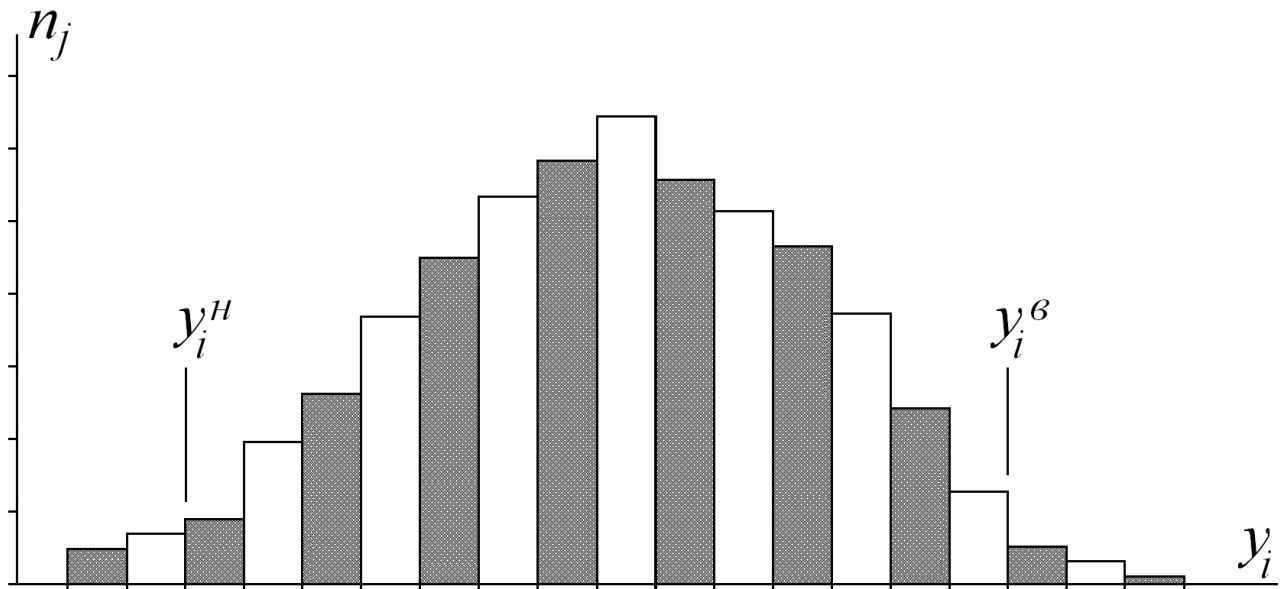


Рис. 1.3. Разброс значений y_i -го показателя качества:

n_j – число значений, попавших в j -интервал; y_i^H – наименьшее предельное значение y_i -го показателя качества; y_i^6 – наибольшее предельное значение y_i -го показателя качества

К показателям качества ИС [5] относятся следующие.

1. Показатели назначения (электрические характеристики, число вводов и выводов, время задержки, максимальная температура кристалла, частотные характеристики и т.д.).
2. Показатели надежности (интенсивность отказов, наработка, гамма-процентный срок сохраняемости).
3. Показатели экономного использования энергии (потребляемая мощность, потребляемый ток, потребляемая мощность на основной логический элемент).
4. Показатели технологичности (выход годных изделий, трудоемкость изготовления и др.).
5. Показатели стандартизации и унификации (коэффициент применимости конструкции).
6. Показатели патентно-правовые (показатель патентной защиты, показатель патентной чистоты).

7. Показатели объемно-весовые (объем, масса и др.).

8. Показатели стойкости к внешним воздействующим факторам (повышенная рабочая температура, пониженная рабочая температура и др.).

Методы определения величины показателей качества зависят от конструкторских, технологических и эксплуатационных особенностей продукции. В машино- и приборостроении, например, применяются следующие методы:

- *инструментальные*, с использованием различных измерительных и контрольных приборов; этими методами чаще всего определяются показатели назначения;

- *расчетно-аналитические*, использующие различные математические операции над значениями, полученными другими методами; эти методы требуют наличия теоретических или эмпирических зависимостей определяемого показателя от исходного и чаще всего пользуются на проектных стадиях;

- *опытные*, позволяющие путем испытаний установить, а в отдельных случаях и проверить, значение показателей, найденных другими методами (например, показатели надежности и т.д.);

- *лабораторные*, служащие для определения показателей с помощью анализов и испытаний;

- *органолептические*, заключающиеся в определении показателей с помощью органов чувств (например, соответствие внешнего вида ИС требованиям конструкторской документации и т.д.);

- *социальные*, позволяющие определить качество путем анкетного опроса потребителей;

- *балльные*, позволяющие оценить отдельные показатели, не имеющие общепринятых размерностей, с помощью баллов;

- *экспертные*, основанные на оценках группы специалистов (экспертов); методы применяются как для определения значений самих показателей качества, так и их коэффициентов весомости.

Обычно одновременно применяется несколько методов для определения одного и того же показателя.

В нашей стране качество ЭКБ определяется, прежде всего, видом приемки на заводе ее изготовившем:

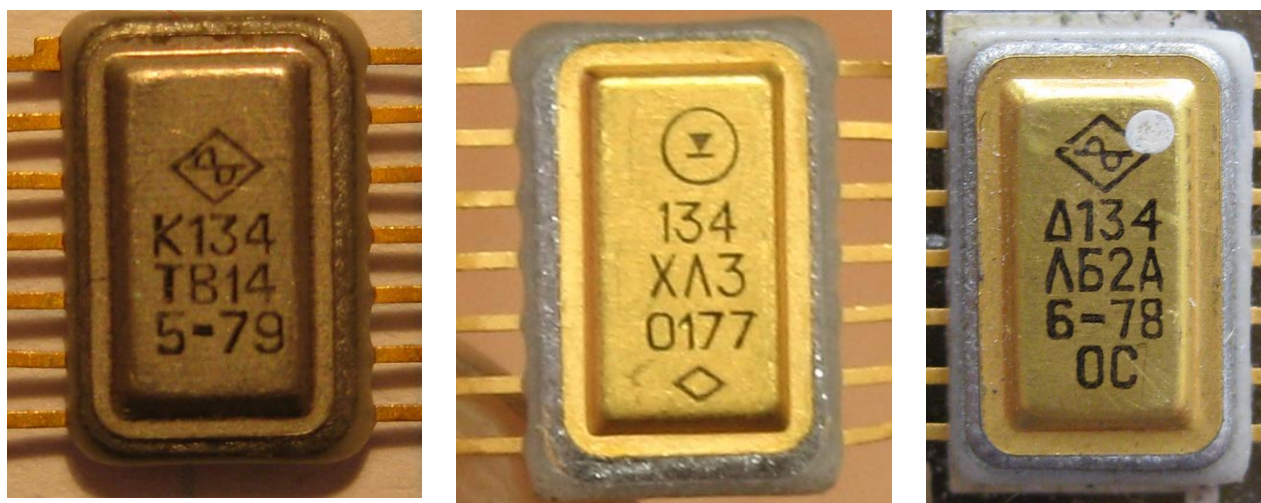
- «1» (отделом технического контроля завода-изготовителя)²,
- «5» (ВП – военным представительством, обозначается знаком ∇ на корпусе)³,
- «9» (ОС – особая серия)⁴. В последнюю группу входят изделия повышенной надежности, выпускаемые малыми партиями (ОСМ – приемка «7») [35].

² В специзделиях, как правило, не применяются.

³ Изделия, предназначенные для применения в наземной, морской и авиационной аппаратуре, отказ которой ведёт к существенным последствиям, ремонт и замена которой ведется на уровне ячеек и блоков.

В ЭВМ СН применяются компоненты с приемкой «5», «7» или «9».

Микросхемы одной серии (и даже одного типа) могут выпускаться с разным видом приемки (рис. 1.4).



а

б

в

Рис. 1.4. ИС серии 134:

*а – приемка ОТК (наличие буквы «К» перед цифровым обозначением);
б – приемка «ВП»; в – приемка «ОС»*

К основным показателям качества ИС, определяющих их пригодность, относят, прежде всего, электрические параметры.

Электрические параметры принято подразделять на статические и динамические. *Статические параметры цифровых ИС* характеризуют микросхему в статическом (установившемся) режиме. *Динамические параметры цифровых ИС* определяют максимальную частоту смены входных состояний, при которой не нарушается нормальное функционирование микросхем.

Основные электрические параметры одних из самых распространенных цифровых ИС стандартной логики⁵ семейства ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика) приведены в табл. 1.1 и на рис. 1.5 [33].

⁴ Изделия, предназначенные для применения в аппаратуре космической и ракетной техники, специальной правительственной связи и др., отказ которой ведет к катастрофическим последствиям, ремонт и замена которых труднодоступны или не возможны.

⁵ Несмотря на появление микропроцессоров, микроконтроллеров и других программируемых схем и постоянное расширение сфер их применения, потребность в микросхемах стандартной логики уменьшилась не настолько, чтобы полностью отказаться от их применения.

Таблица 1.1

Основные электрические параметры ИС ТТЛ-типа

Термин	Обозначение параметра		Определение
	отечественное	международное	
1	2	3	4
Статические параметры			
Напряжение питания	$U_{ип}$	U_{CC}	Значение напряжения источника питания, обеспечивающего работу ИС в заданном режиме
Входное напряжение низкого уровня	$U_{вх}^0$	U_{IL}	Значение входного напряжения низкого уровня на входе ИС
Входное напряжение высокого уровня	$U_{вх}^1$	U_{IH}	Значение входного напряжения высокого уровня на входе ИС
Выходное напряжение низкого уровня	$U_{вых}^0$	U_{OL}	Значение выходного напряжения низкого уровня на выходе ИС
Выходное напряжение высокого уровня	$U_{вых}^1$	U_{OH}	Значение выходного напряжения высокого уровня на выходе ИС
Входной ток низкого уровня	$I_{вх}^0$	I_{IL}	Значение входного тока при напряжении низкого уровня на входе ИС
Входной ток высокого уровня	$I_{вх}^1$	I_{IH}	Значение входного тока при напряжении высокого уровня на входе ИС
Выходной ток низкого уровня	$I_{вых}^0$	I_{OL}	Значение выходного тока при напряжении низкого уровня на выходе ИС
Выходной ток высокого уровня	$I_{вых}^1$	I_{OH}	Значение выходного тока при напряжении высокого уровня на выходе ИС
Ток потребления при низком уровне выходного напряжения	$I_{пот}^0$	I_{CCL}	Значение тока, потребляемого ИС от источника питания при низком уровне выходного напряжения
Ток потребления при высоком уровне выходного напряжения	$I_{пот}^1$	I_{CCH}	Значение тока, потребляемого ИС от источника питания при высоком уровне выходного напряжения
Средняя потребляемая мощность	$P_{пот.ср.}$	P_{CC}	Значение мощности, равное полусумме мощностей, потребляемых ИС от источников питания в двух различных устойчивых состояниях
Динамические параметры			
Время задержки распространения при включении	$t_{зд.р.}^{1,0}$	t_{PHL}	Интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе напряжения на выходе ИС от напряжения высокого уровня к напряжению низкого уровня, измеренный на уровне 0,5 или на заданном значении напряже-

			ния
--	--	--	-----

Окончание табл. 1.1

1	2	3	4
Время задержки распространения при выключении	$t_{зд.р.}^{0,1}$	t_{PLH}	Интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе напряжения на выходе ИС от напряжения низкого уровня к напряжению высокого уровня, измеренный на уровне 0,5 или на заданном значении напряжения
Время задержки включения	$t_{зд.р.}^{0,1}$	t_{DHL}	Интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе напряжения на выходе ИС от напряжения высокого уровня к напряжению низкого уровня, измеренный на уровне 0,1 или на заданных значениях напряжения
Время задержки выключения	$t_{зд.}^{0,1}$	t_{DLH}	Интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе напряжения на выходе ИС от напряжения низкого уровня к напряжению высокого уровня, измеренный на уровне 0,9 или на заданных значениях напряжения
Время перехода при включении	$t^{1,0}$	t_{THL}	Интервал времени, в течение которого напряжение на выходе ИС переходит от напряжения высокого уровня к напряжению низкого уровня, измеренный на уровнях 0,1 и 0,9 или на заданных значениях напряжения
Время перехода при выключении	$t^{0,1}$	t_{TLH}	Интервал времени, в течение которого напряжение на выходе ИС переходит от напряжения низкого уровня к напряжению высокого уровня, измеренный на уровнях 0,1 и 0,9 или на заданных значениях напряжения

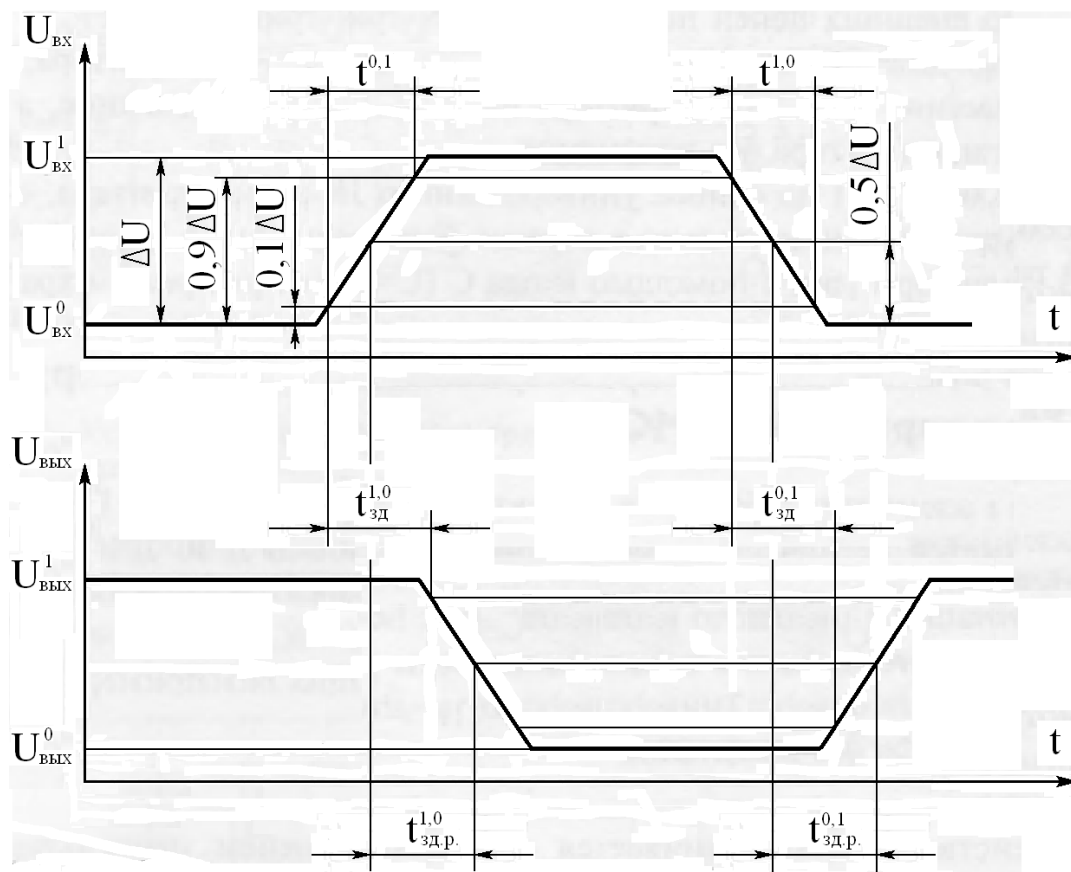


Рис. 1.5. Временная диаграмма ИС ТТЛ-типа

В качестве примера рассмотрим показатели качества микросхемы 1533ЛА3, бК0.347.364-01 ТУ. Тип – транзисторно-транзисторная логика с диодами Шоттки (ТТЛШ). Представляют собой четыре логических элемента 2И-НЕ (рис. 1.6). Содержат 88 интегральных элементов. Металлостеклянный корпус типа 401.14-5 (рис. 1.7) с параллельным расположением выводов. Диапазон рабочих температур от -60°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Допустимое значение потенциала статического электричества 200 В. Напряжение питания $5,0\text{ В} \pm 10\%$.

Прототипом является ИС SN54ALS00 (SN54 – стандартная ТТЛ ИС; Advanced Low-power Schottky – улучшенная ТТЛШ с пониженной потребляемой мощностью) фирмы Texas Instruments⁶.

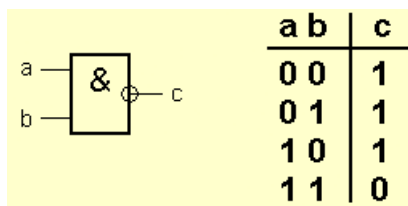


Рис. 1.6. Элемент 2И-НЕ и его таблица истинности

⁶ Серия SN54ALS выпускается фирмой Texas Instruments и в настоящее время.

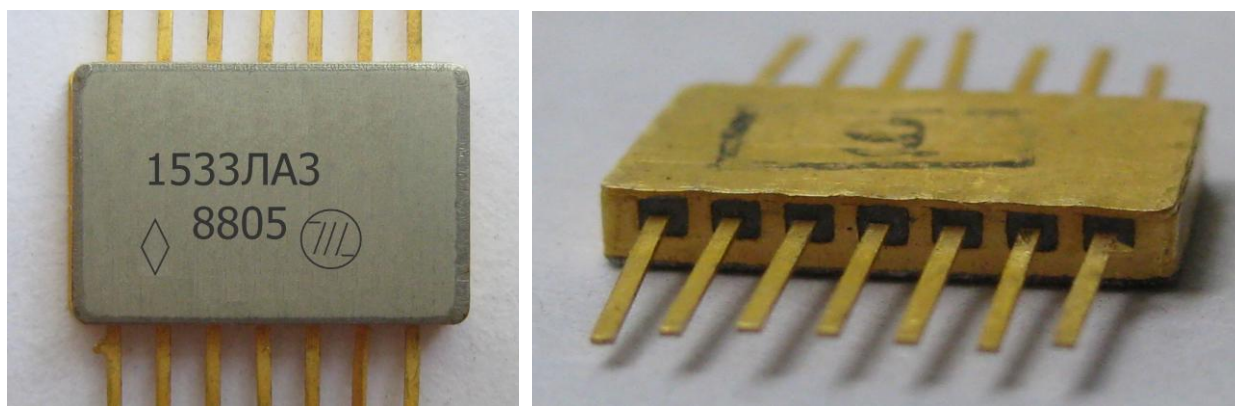


Рис. 1.7. ИС 1533ЛА3 в металлостеклянном корпусе типа 401.14-5

Основные электрические характеристики ИС 1533ЛА3 приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Основные электрические характеристики ИС 1533ЛА3 и их значения [22]

Режим измерения	Электрические параметры
$I_{\text{ВЫХ}}^0 = 4 \text{ мА}$	$U_{\text{ВЫХ}}^0 \leq 0,4 \text{ В}$
$I_{\text{ВЫХ}}^1 = -0,4 \text{ мА}$	$U_{\text{ВЫХ}}^1 \geq 2,5 \text{ В}$
$U_{\text{ВХ}}^0 = 0,4 \text{ В} ; U_{\text{ВХ}}^1 = 4,5 \text{ В}$	$I_{\text{ВХ}}^0 \leq -0,2 \text{ мА}$
$U_{\text{ВХ}}^0 = 0 \text{ В} ; U_{\text{ВХ}}^1 = 2,7 \text{ В}$	$I_{\text{ВХ}}^1 \leq 0,02 \text{ мА}$
$U_{\text{ВХ}}^1 = 4,5 \text{ В}$	$I_{\text{ПОТ}}^0 \leq 3,0 \text{ мА}$
$U_{\text{ВХ}}^0 = 0 \text{ В}$	$I_{\text{ПОТ}}^1 \leq 0,85 \text{ мА}$
$U_{\text{ВХ}}^1 = 3 \text{ В} ; R_{\text{Н}} = 500 \text{ Ом} ; C_{\text{Н}} = 50 \text{ пФ}$	$t_{\text{зд.р.}}^{1,0} \leq 14 \text{ нс} ; t_{\text{зд.р.}}^{0,1} \leq 14 \text{ нс}$
	$P_{\text{ПОТ.ср.}} \leq 10,59 \text{ мВт}$

Примечание. Знак «минус» перед нормой на ток указывает только на его направление. За величину тока принимают абсолютное значение показаний измерителя тока.

Как следует из табл. 1.2 большинство электрических параметров ИС 1533ЛА3 могут иметь разброс значений, которые ограничены односторонними допусками.

Электрические параметры формируются на заключительных стадиях изготовления ИС, но их номинальные значения закладываются при проектировании, а разброс значений является следствием нестабильности свойств исходных материалов и технологического процесса. Поэтому особое внимание на всех этапах создания ИС отводится техническому контролю.

Объектом технического контроля могут быть изделия, процессы их создания, применения, транспортировки, хранения, технического обслуживания и ре-

монта⁷, а также соответствующая нормативно-техническая документация (НТД). Классификация видов технического контроля по различным признакам приведена в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Классификация видов технического контроля

Признак классификации	Виды контроля
Цель контроля	Контроль качества продукции Контроль функционирования (работоспособность) Контроль технического состояния (параметрический, функциональный)
Контроль	Диагностический контроль Прогнозирующий контроль
Стадии жизненного цикла	Производственный контроль Эксплуатационный контроль
Стадии производственного процесса	Входной контроль Операционный контроль Приемочный контроль
Полнота охвата контролем	Сплошной контроль Выборочный контроль
Характер контроля	Инспекционный контроль Летучий контроль
Средства контроля	Измерительный контроль Регистрационный контроль Органолептический контроль Визуальный контроль Технический осмотр Контроль по контрольному образцу
Влияние на изделие	Разрушающий контроль Неразрушающий контроль
Контролируемый параметр	Контроль по количественному признаку Контроль по качественному признаку Контроль по альтернативному признаку Допусковый контроль
Периодичность во времени	Непрерывный контроль Периодический контроль
Принимаемые решения	Пассивный контроль Активный контроль

⁷ Большинство видов ЭКБ (например, ИС) техническому обслуживанию и ремонту не под лежат.

Технический контроль осуществляется на всех стадиях жизненного цикла изделия.

На *стадии разработки изделия* – задачей технического контроля является проверка правильности выбора и определения показателей качества продукции, их соответствия современным научно-техническим достижениям и принимаемым техническим решениям, а также выполнение всех требований стандартов и другой нормативно-технической документации, а также контроль качества опытных образцов (или опытных партий).

На *стадии производства изделия* – технический контроль сводится к контролю качества и состояния технологического процесса.

На *стадии эксплуатации изделия* – задачами технического контроля являются: проверка соответствия показателей качества изделия требованиям НТД при транспортировании, хранении и эксплуатации; проверка соответствия показателей качества изделия требованиям НТД после ремонта.

1.2. Контроль качества ИС

Процессы разработки, изготовления и применения ИС сопровождаются большим количеством контрольных и измерительных операций. Несмотря на то, что в основу этих операций часто положены одни и те же физические методы, назначение и методика их проведения различны на разных этапах создания и применения ИС.

Задачей измерений является определение (нахождение) конкретных значений физической величины (параметров структур и готовых ИС) с помощью специальных технических средств, в результате чего с использованием измерений получают количественную характеристику исследуемой величины (параметра).

Основной задачей контроля является проверка соответствия параметров технологических процессов, материалов и сред, структур ИС, а также технической документации установленным техническим требованиям. Поэтому на всех этапах разработки ИС и освоения технологического процесса проводят различного рода измерения, а в условиях серийного производства и применения ИС – контроль.

Как известно, качество ИС в значительной степени определяется уровнем технологии их изготовления.

Сложность технологических процессов, состоящих из нескольких десятков различных операций и переходов, несовершенство и нестабильность отдельных технологических операций, обуславливающих невоспроизводимость и разброс параметров изготавливаемых структур, – все это приводит к появлению дефектов в процессе изготовления ИС. Поэтому с целью обнаружения дефектов и устранения дефектных структур из последующего цикла изготовления, а также для проверки соответствия изготовленной ИС требованиям технических условий вводится система контроля качества (СКК) [29].

Основу СКК составляет **производственный контроль качества (ПКК)**. ПКК является составной частью типового технологического процесса и сводится к определению двух его составляющих: явных дефектов, характеризующих процент выхода годных изделий, и скрытых дефектов, характеризующих производственную надежность; в обоих случаях контроль может носить как пассивный, так и активный, диагностирующий характер.

Пассивным является контроль, который регистрирует только факт существования дефекта по принципу «годен – негоден», не вскрывая его механизма.

Диагностирующим контролем (диагностикой) называют контроль, который дает информацию о природе дефектов, позволяющую вносить необходимые коррективы в производство.

Целью производственного контроля является не только своевременная отбраковка дефектных изделий на различных этапах изготовления, но и обеспечение требуемого уровня качества ИС, что достигается контролем технологических операций и процессов. Такой контроль может быть осуществлен как измерением параметров структуры, сформированной в результате проведения технологической операции или процесса, так и контролем технологических режимов и параметров, характеризующих данную операцию. Поэтому производственный контроль охватывает целый комплекс различных физических, химических и электрических методов измерений, предназначенных как для контроля параметров материалов, полуфабрикатов, структурных элементов и готовых ИС, так и для контроля технологических режимов и параметров отдельных операций.

Производственный контроль параметров изготавливаемых структур подразделяется на *входной, операционный и приемочный*.

Входному контролю подвергаются материалы, полуфабрикаты, вспомогательные и комплектующие изделия, запускаемые в производство (например, металлы, диэлектрики, органические и неорганические продукты, полупроводниковые подложки, проволока для внутрисхемных соединений, детали корпуса и т.д.).

Операционный контроль проводится с целью проверки качества проводимой технологической операции. Сюда относятся различные операции для контроля качества полупроводниковых и пленочных структур, полученных в результате различных операций, в частности контроль качества очистки, эпитаксиального наращивания, окисления, диффузии, металлизации, напыления, фотолитографии и т.д.

На *финишном* контроле пластины с кристаллами ИС тестируются на автоматических зондовых установках. Контактующее устройство, содержащее набор зондов (например, специальных игл для электрического контакта), поочередно опускается на кристалл до касания с соответствующими контактными площадками. В момент касания (в соответствии с программой тестирования) подаются входные импульсы, питание и измеряются выходные параметры, свидетельствующие о годности ИС. Дефектные кристаллы помечаются как бракованные (чернильной точкой или информация о них заносится в специальный файл и будет использована при отбраковке кристаллов после их разделения).

Современные автоматические установки зондового контроля параметров ИС обеспечивают различные виды проверок [37, 47]: *аналитический (диагностический) контроль, функциональный контроль, параметрический контроль.*

Функциональный контроль ИС – контроль функциональной зависимости выходных сигналов от входных при всех необходимых состояниях проверяемой схемы (на основе таблиц истинности или известных результатов выполнения команд) [16, 32]; в процессе проверки фиксируются значения выходного напряжения низкого и высокого уровней, которые, например, для ИС 1533ЛА3 должны соответствовать значениям, приведенным на рис. 1.6.

Параметрическим контролем называется операция измерения электрических параметров испытуемой ИС, допустимые границы которых указаны в документации производителя, и таких информативных параметров испытуемой ИС, как ток потребления или токи утечки [32]. Параметрический контроль обычно подразделяется на *статический* (при постоянном токе) и *динамический* (при переменном токе) [37].

Разновидностью операционного контроля ИС является **контроль по тестовым структурам** (ТС). ТС представляют собой отдельные фрагменты ИС (например, наборы транзисторов, диодов и др. элементов, соединенных определенным образом), располагаемые на полупроводниковой пластине, изготавливаемой по тому же технологическому процессу, что и рабочие кристаллы ИС.

ТС могут быть оформлены в виде [36]:

- отдельных ячеек, встроенных в рабочие кристаллы ИС (обычно на их периферии) и называемых *контрольно-технологическими структурами*;
- отдельных кристаллов, занимающих определенные места на пластине по соседству с рабочими кристаллами ИС и называемых встроенными тестовыми кристаллами;
- отдельных пластин (*тестовых подложек*), полностью занятых тестовыми кристаллами; этот вариант обычно используется при отработке технологического процесса.

Электрический контроль ТС может быть произведен после нанесения первого слоя металлизации, что позволяет своевременно обнаружить брак и принять меры по внесению соответствующих корректив в технологический процесс.

Контроль ТС занимает меньше времени и предшествует финишному тестированию пластин, а также позволяет использовать разрушающие методы контроля для получения дополнительной информации о технологическом процессе. *Приемочный контроль* проводится с целью проверки качества готовых ИС на соответствие требованиям нормативно-технической документации (стандартам, ТУ).

Порядок проведения производственного контроля устанавливается в технологической документации (ТД). Качество готовых ИС в процессе производства проверяет цех-изготовитель и отдел технического контроля (ОТК),

Вследствие высокой сложности технологических процессов производства ИС и наличия большого числа факторов, влияющих на их качество, в партии ИС,

считающимися годными на момент проверки, всегда содержатся ИС со скрытыми дефектами (потенциально ненадежные). Такие ИС при эксплуатации выходят из строя в первую очередь. Для удаления потенциально-ненадежных ИС на заключительных стадиях их производства проводится серия испытаний (отбраковочные, предъявительские, приемо-сдаточные и др., см. приложение) при воздействии дестабилизирующих факторов. Эти факторы имитируют условия эксплуатации и ускоряют (провоцируют) выявление скрытых дефектов. В частности, воздействие на ИС повышенной температуры и термоциклов ускоряет многие механизмы отказов. Повышенные температуры вызывают ускорение химических реакций, обуславливающих коррозию алюминия на кристалле, старение, ухудшение изоляции, увеличение токов утечки и так далее. Термоциклы (попеременный нагрев и охлаждение) также являются ускоряющим воздействием и хорошо выявляют малую негерметичность корпуса. Влага при термоциклах проникает в негерметичные объемы и вызывает увеличение токов утечки и коррозию металлизации. Напряженные места конструкции, склонные к образованию трещин, также выявляются при термоциклах. Испытания термоциклами могут рассматриваться как ускоренные, следует только правильно выбрать диапазон изменения температур и скорость нагрева. В большинстве случаев термоциклы являются нормальным режимом работы ИС в аппаратуре, так как они связаны с внешней температурой и разогревом аппаратуры. Помимо тепловых и термоциклических используются механические испытания с постоянной или изменяющейся нагрузкой, которые могут выявлять дефекты монтажа кристалла, внутренних сварных соединений, корпуса и внешних выводов [41].

Во всех отечественных регламентирующих документах по выпуску ИС [3, 16, 17, 18] имеется указание, что в процессе изготовления должны проводиться стопроцентные отбраковочные испытания.

Состав обязательных стопроцентных отбраковочных испытаний, определенных специальными общими техническими условиями (СОТУ) [16], приведен в табл. 1.4.

Тренировка представляет собой метод отбраковки, при котором ИС заставляют работать некоторое время в определенных условиях окружающей среды с подачей или без подачи электрической нагрузки, рассчитанной таким образом, чтобы в процессе тренировки вызвать отказ потенциально ненадежных схем, не повреждая хорошие. Тренировка ускоряет старение ИС и предназначается для устранения ранних отказов, то есть отбраковки потенциально ненадежных и повышения надежности партии оставшихся в ней ИС. Различают следующие виды тренировок ИС: электротренировка (ЭТ), электротермотренировка (ЭТТ) и термотренировка (ТТ). Каждый из перечисленных видов тренировок имеет свои достоинства и недостатки. В процессе ЭТТ проверяется работа ИС при максимально допустимом напряжении и максимально возможной температуре (которые указаны в ТУ). ЭТТ проводится на специальных стендах при строгом контроле температуры [42].

Таблица 1.4

Состав обязательных 100%-х отбраковочных испытаний ИС

Вид испытания	Условия испытания
1. Визуальный контроль: - кристаллов; - сборки перед герметизацией	Увеличение в 200 раз Увеличение не менее, чем в 32 раза
2. Термообработка для стабилизации параметров: - перед герметизацией; - после герметизации	48 ч при +150°C 24 ч при +125°C
3. Испытание на воздействие изменения температуры среды	10 циклов от -60 до +150°C
4. Испытание на воздействие линейного ускорения	20000 g в направлении оси Y
5. Проверка герметичности	По ТД
6. Проверка электрических параметров (статических) при нормальных климатических условиях	По ТД
7. Электротермотренировка	168 ч (для биполярных схем) и 240 ч (для МДП-схем)
8. Электрические испытания: а) проверка статических параметров при: - нормальных климатических условиях; - пониженной рабочей температуре среды; - повышенной рабочей температуре среды; б) проверка динамических параметров при нормальных климатических условиях; в) функциональный контроль при: - нормальных климатических условиях; - пониженной рабочей температуре среды; - повышенной рабочей температуре среды	По ТД
9. Контроль внешнего вида	По ТД

Отбраковочные испытания проводит цех-изготовитель, который годные ИС комплектует в партии и передает отделу технического контроля (ОТК) на предъявительские испытания. Объем предъявительских испытаний, проводимых ОТК, должен быть не менее объема приемо-сдаточных испытаний, кроме контроля, связанного с расходом ресурса (т.е. с существенным сокращением «срока жизни» ИС). При этом контроль проводят по нормам, как правило, более жестким, чем контроль, осуществляемый представителем заказчика. Нормы для предъявительских испытаний ОТК устанавливают в ТД. Партию считают принятой ОТК и годной для предъявления на испытания представителю заказчика, если результаты испытаний и контроля соответствуют требованиям стандартов и ТУ на изделие. Партию, не выдержавшую предъявительских испытаний ОТК, возвращает цеху-изготовителю для установления причин возникновения дефектов, проведения ме-

роприятий по устранению дефектов и их причин, повторной проверки и последующего предъявления [8]. ИС, принятые ОТК, подвергаются контрольным испытаниям:

- квалификационным (К);
- приемо-сдаточным (С);
- периодическим (П);
- и др. (см. приложение).

Методика и условия проведения квалификационных, приемо-сдаточных и периодических испытаний определяются стандартами ОСТ В 11.073.012 – 87 и ОСТ 11 073.013 – 2008.

При проведении испытаний применяют сплошной или выборочный контроль.

При выборочном контроле каждый вид испытания проводится по определенным правилам, называемым планом контроля. Испытания, проводимые по одному плану контроля, принято объединять в группы, например: К-2 (вторая группа квалификационных испытаний), С-1 (первая группа приемо-сдаточных испытаний).

Состав и последовательность квалификационных (К), приемо-сдаточных (С) и периодических (П) испытаний ИС, определяемых СОТУ [16], приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

**Состав и последовательность квалификационных (К),
приемо-сдаточных (С) и периодических (П) испытаний ИС**

Вид и последовательность испытаний	Группы испытаний		
	К	С	П
1	2	3	4
Проверка внешнего вида	К-1	С-1	П-1
Проверка габаритных, установочных и присоединительных размеров	К-1	С-2	П-1
Проверка статических параметров при: - нормальных климатических условиях; - пониженной рабочей температуре среды; - повышенной рабочей температуре среды	К-1	С-3	П-1
Проверка динамических параметров при нормальных климатических условиях	К-1	С-3	П-1
Проверка динамических параметров при: - пониженной рабочей температуре среды; - повышенной рабочей температуре среды	К-1	С-3	П-1
Функциональный контроль при: - нормальных климатических условиях; - пониженной рабочей температуре среды; - повышенной рабочей температуре среды	К-1	С-3	П-1
Испытание на безотказность	К-2	С-5	П-2
Испытание на воздействие изменения температуры среды	К-3	С-4	--

Окончание табл. 1.5

1	2	3	4
Испытание на воздействие линейного ускорения	К-3	С-4	--
Испытание на герметичность	К-3	С-4	П-4
Испытание на воздействие одиночных ударов	К-4	--	П-3
Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха (кратковременное)	К-4	--	П-3
Проверка качества маркировки	К-5	--	П-4
Испытание выводов на воздействие растягивающей силы	К-5	--	П-4
Испытание гибких проволочных и ленточных выводов на изгиб	К-5	--	П-4
Испытание гибких лепестковых выводов на изгиб	К-5	--	П-4
Испытание на способность к пайке	К-5	--	П-4
Испытание на теплостойкость при пайке	К-5	--	П-4
Испытание упаковки	К-6	--	П-5
Испытание на вибропрочность	К-7	--	П-6
Испытание на виброустойчивость	К-7	--	П-6
Испытание на ударную прочность	К-7	--	П-6
Испытание на долговечность	К-8	--	--
Испытание на воздействие повышенной влажности воздуха (длительное)	К-9	--	--
Испытание на хранение при повышенной температуре	К-10	--	--
Проверка массы микросхем	К-11	--	--
Испытание на воздействие атмосферного повышенного давления	К-11	--	--
Испытание на воздействие атмосферного пониженного давления	К-11	--	--
Испытание на воздействие плесневых грибов	К-12	--	--
Испытание на воздействие инея и росы	К-13	--	--
Испытание на воздействие соляного тумана	К-14	--	--
Испытание на воздействие акустического шума	К-15	--	--
Определение запасов устойчивости к воздействию механических, тепловых и электрических нагрузок (граничные испытания)	К-16	--	--
Испытание на стойкость к воздействию спецфакторов	К-17...24	--	--

Квалификационные испытания проводят на установочной серии ИС перед началом серийного выпуска или при наличии перерыва в выпуске данного типоминимала более 12 мес. Квалификационные испытания проводит комиссия по приемке установочной серии, назначаемая в установленном порядке [8]. Выборку комплектует комиссия по приемке установочной серии. Испытание на безотказность (К-2) проводят при повышенной рабочей температуре среды, установленной в ТУ на ИС в течение 1000 ч. Испытание К-10 проводят при повышенной предельной температуре в течение 1000 ч [16].

Приемо-сдаточным испытаниям подвергаются все товарные ИС, прошедшие предъявительские испытания. Приемо-сдаточные испытания проводит представитель заказчика в присутствии представителя ОТК [8]. Испытания по группе С-4 связаны со значительным расходом ресурса, поэтому ИС, непосредственно подвергавшиеся этим испытаниям, согласно СОТУ [16] поставке не подлежат. Испытания на безотказность (группа С-5) проводят в течение 96 ч [16].

Периодическим испытаниям подвергаются ИС, прошедшие приемо-сдаточные испытания (кроме изделий, подвергавшихся испытаниям по группе С-4).

Периодические испытания проводит ОТК изготовителя при участии и под контролем представителя заказчика. Испытания проводят в сроки, установленные графиком, утвержденным руководством изготовителя и представителем заказчика.

Периодичность испытаний устанавливают – квартал или полугодие [8]. Испытания на безотказность (группа П-2) один раз в год проводят в течение 1000 ч [16].

Результаты приемо-сдаточных и периодических испытаний должны использоваться для статистического контроля качества совокупности изделий, изготовленных за определенный период производства [8].

При проведении квалификационных и периодических испытаний применяют выборочный контроль, а приемо-сдаточных – выборочный одноступенчатый контроль или сплошной контроль. Планы выборочного контроля для испытаний по группам С-1, С-2, С-3, С-4 приведены в табл. 1.6 [16].

Таблица 1.6

Планы выборочного контроля для испытаний по группам С-1...С-4

Объем партии, шт.	Объем выборки для группы испытаний, <i>n</i> , шт.			
	С-1	С-2	С-3	С-4
300 - 1000	30	10	150	10
10001 – 3000 (для ИС1, ИС2)	50	15	250	15
10001 – 2000 (для ИС3 – ИС6)	50	15	250	15
Приемочное число, <i>C</i> , шт.	1	0	0	0

Примечания: 1. ИС1...ИС6 – ИС соответственно первой...шестой степени интеграции.

2. При предъявлении партии объемом менее 300 шт. проводят сплошной контроль по группам С-1 (с приемочным числом, равным единице) и С-3 (с приемочным числом, равным нулю), а по группам С-2 и С-4 проводят выборочный одноступенчатый контроль в соответствии с табл. 1.6.

В состав квалификационных, приемо-сдаточных и периодических испытаний ИС входят испытания на надежность (табл. 1.5): испытание на безотказность (К-2, С-5, П-2), испытание на долговечность (К-8), граничные испытания (К-16).

2. НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

2.1. Основы надежности ИС

Под *надежностью* чаще всего понимают способность объекта сохранять параметры качества во времени [54] при воздействии дестабилизирующих факторов, определяемых условиями хранения, транспортировки, эксплуатации.

Надежность ИС обеспечивается их конструкцией, качеством материалов, технологией изготовления (и ее стабильностью), а так же системой контроля и обеспечения качества [8].

В партии ИС, признанных годными и поставляемых потребителю, могут находиться:

- 1) ИС, параметры которых на момент проверки соответствуют требованиям НТД;
- 2) дефектные ИС, которые оказались здесь в результате выборочного контроля (т.е. не были подвержены полному набору испытаний).

Параметры ИС обеих групп в процессе дальнейшей «жизни»: транспортировки, хранения (в упаковке предприятия-поставщика, в составе ЭВМ или комплекта ЗИП), а также эксплуатации в составе аппаратуры, могут изменять свои значения, что в результате может привести к отказу ЭВМ. Поэтому ИС на предприятии-изготовителе ЭВМ подлежат контролю и испытаниям как на входном контроле, так и в составе ЭВМ (проводимым обычно неоднократно в составе более сложных структур, таких как: ЭВМ, система управления, управляемый объект и т.д.). Многолетний опыт работы с различной ЭКБ (в т.ч. и с ИС) показывает, что в одинаковых условиях транспортировки, хранения и эксплуатации выход параметров за допустимые границы (т.е. параметрический отказ) отдельных ИС происходит не в одно и то же время, предсказать которое заранее не представляется возможным. Еще более непредсказуемым становится поведение ИС при непостоянных внешних воздействиях (группы факторов **DF** на рис. 1.2). Поэтому для количественной оценки показателей надежности применяют вероятностные величины.

Предположим, что на испытание (в нормальных условиях эксплуатации и при номинальных значениях воздействующих факторов) поставлена группа ИС одного типоминимала объемом N штук. Будем фиксировать время «жизни» (наработку до отказа) каждой ИС как $t_1, \dots, t_i, \dots, t_N$ ($i = \overline{1, N}$). Среднее время безотказной работы (или средняя наработка до отказа) для этого типа ИС, определенное экспериментально $T_{H.CP.}^{\Theta}$, рассчитывается по формуле

$$T_{H.CP.}^{\Theta} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}. \quad (2.1)$$

Поскольку наработка до отказа может принимать различные значения (заранее неизвестно какие), то при моделировании (т.е. – приближенном описании)

процесса испытания этот параметр может рассматриваться как случайная величина T , описываемая дифференциальной $q(T)$ и интегральной $Q(T)$ функциями распределения.

В качестве $q(T)$ и $Q(T)$ используются те или иные функции теоретических распределений, чаще всего – экспоненциального. В настоящее время в отечественной и мировой практике в 95...99 % случаев пользуются предположением об экспоненциальном распределении времени до отказа элементов, при котором плотность распределения времени до отказа задаётся выражением [25]:

$$q(T) = \lambda e^{-\lambda T}; \lambda > 0, T \geq 0, \quad (2.2)$$

где λ – параметр распределения для рассматриваемого типонаминала ИС.

Интегральная $Q(T)$ функция экспоненциального распределения $Q(T)$ имеет вид

$$Q(T) = 1 - e^{-\lambda T}; \lambda \geq 0, T \geq 0, \quad (2.3)$$

График функции $q(T)$ приведен на рис. 2.1.

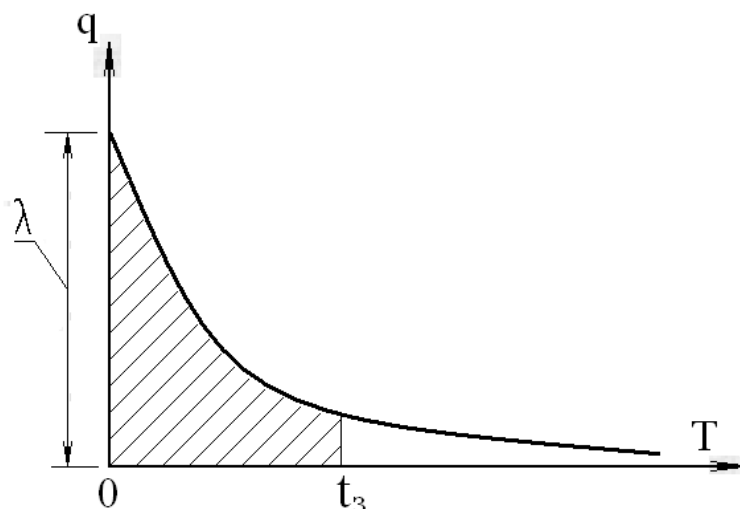


Рис. 2.1. Экспоненциальное распределение времени отказа

Площадь заштрихованной области соответствует:

- доле ИС, наработка до отказа которых не превысила некоторой заданной величины t_3 ;
- доле ИС, отказ которых произошел за время t_3 ;
- вероятности отказа ИС за время t_3 .

Таким образом, $Q(T)$ может рассматриваться также как интегральная функция распределения вероятности отказа за время T . Соответствующую функцию распределения вероятности безотказной работы за время T обозначим $P(T)$. Поскольку при любом значении T вероятность того, что отказ либо произошел, либо не произошел, (третьего не дано) равна единице, то можно записать, что

$$Q(T) + P(T) = 1. \quad (2.4)$$

Графики функций $Q(T)$ и $P(T)$ приведены на рис. 2.2 [27].

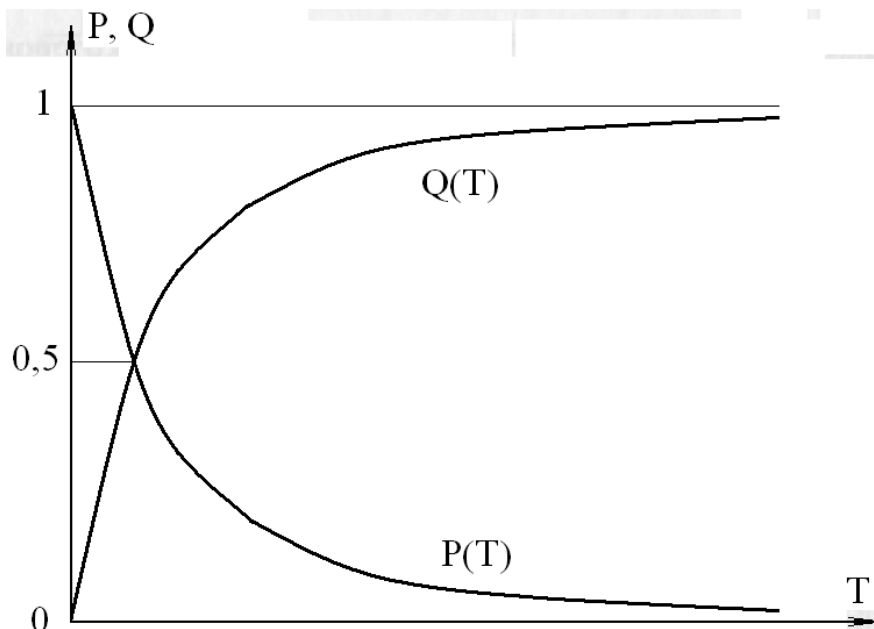


Рис. 2.2. Графики функций $Q(T)$ и $P(T)$

Из рис. 2.2 следует, что вероятность безотказной работы монотонно убывает с ростом наработки, а вероятность отказа возрастает. Таким образом, запас надежности, имеющийся у изделия на начальный момент времени $T=0$, постепенно расходуется, и при достаточно длительном времени эксплуатации изделие становится практически неработоспособным.

Вероятность безотказной работы ИС за время t_3 соответствует не заштрихованной площади под кривой $q(T)$ на рис. 2.1, что позволяет записать

$$P(t_3) = \int_{t_3}^{\infty} q(T) dT. \quad (2.5)$$

Таким образом, в случае экспоненциального закона распределения параметра T вероятность безотказной работы ИС за время t_3 может быть определена как

$$P(t_3) = \int_{t_3}^{\infty} \lambda e^{-\lambda T} dT, \quad (2.6)$$

а вероятность отказа за это же время будут равна

$$Q(t_3) = \int_0^{t_3} \lambda e^{-\lambda T} dT. \quad (2.7)$$

Из формул (2.3) и (2.4) следует, что

$$P(T) = e^{-\lambda T}. \quad (2.8)$$

Это выражение часто называют «экспоненциальный закон надежности».

Надежность ИС является комплексным свойством, которое включает безотказность, долговечность и сохраняемость [8]. Основные показатели надежности ИС приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Показатели надежности

Показатели	Обозначение
Показатели безотказности	
Вероятность безотказной работы за заданное (интересующее время)	$P(t_3)$
Вероятность отказа за заданное время	$Q(t_3)$
Средняя наработка до отказа	$T_{H.CP}$
Гамма-процентная наработка до отказа*	T_γ
Интенсивность отказов	$\lambda(t)$
Минимальная наработка до отказа; обычно считают, что $T_{мин}^H$ соответствует гамма-процентной наработке до отказа T_γ при $\gamma=99,99\%$	$T_{мин}^H$
Показатели долговечности	
Средний ресурс изделия	
Гамма-процентный ресурс*	T_γ^{PEC}
Показатели сохраняемости	
Средний срок сохраняемости изделия; представляет собой математическое ожидание срока сохраняемости изделия	
Гамма-процентный срок сохраняемости* (обычно $\gamma \geq 90\%$)	T_γ^{CX}
Минимальный срок сохраняемости; обычно считают, что $T_{мин}^{CX}$ соответствует гамма-процентному сроку сохраняемости T_γ^{CX} при $\gamma=99,99\%$	$T_{мин}^{CX}$

* Значения γ выбирают из ряда: 95; 97,5; 99; 99,5; 99,9; 99,99%. В технически обоснованных случаях по согласованию с заказчиком допускается устанавливать значение γ равным 90% [15].

Основной характеристики надежности любого изделия (в т.ч. ИС) считается интенсивность отказов $\lambda(T)$, определяемая из выражения

$$\lambda(T) = \frac{q(T)}{P(T)}. \quad (2.9)$$

Интенсивность отказов представляет собой долю изделий (рассчитываемую относительно числа работоспособных на данный момент времени), которые в среднем выходят из строя в единицу времени. В случае использования экспоненциального закона распределения параметра T интенсивность отказов считается постоянной (не зависящей от времени).

$$\lambda(T) = \frac{q(T)}{P(T)} = \frac{\lambda e^{-\lambda T}}{e^{-\lambda T}} = \lambda. \quad (2.10)$$

Размерность интенсивности отказов $[\lambda] = 1/ч = ч^{-1}$. Значения λ для современных ИС равны $10^{-9} \dots 10^{-6}$ (ИС высокой надежности) и 10^{-9} и ниже (ИС сверхвысокой надежности).

Для измерения интенсивности отказов зарубежные изготовители обычно подсчитывают относительное число приборов, которые могут отказаться в течение каждых 10^5 ч работы (т.е. процент на 1000 ч). В Японии более предпочтительной единицей измерения является количество отказов на 10^9 ч (так называемый FIT – Failures In Time – отказы во времени)), так как она позволяет более наглядно отразить сверхмалые интенсивности отказов ИС. Таким образом, $1\text{FIT} = 10^{-4}\%/1000 \text{ ч} = 10^{-9} \text{ 1/ч}$ [27].

На основании полученных выражений определяется следующий ряд показателей надежности ИС.

1. Средняя наработка до отказа $T_{\text{н.ср.}}$, определяемая как математическое ожидание наработки ИС до первого отказа [31]

$$T_{\text{н.ср.}} = \int_0^{\infty} Tq(T)dT = \int_0^{\infty} T\lambda e^{-\lambda T} dT = - \int_0^{\infty} T \frac{d}{dT} e^{-\lambda T} dT = \int_0^{\infty} e^{-\lambda T} dT = \frac{1}{\lambda}. \quad (2.11)$$

Графически средняя наработка до отказа равна площади, образованной кривой вероятности безотказной работы $P(t)$ и осями координат (рис.2.2).

2. Гамма-процентная наработка до отказа определяется из выражения

$$P(T_\gamma) = 1 - Q(T_\gamma) = 1 - \int_0^{T_\gamma} q(T)dT = \frac{\gamma}{100}.$$

При $P(T) = e^{-\lambda T}$, находим

$$P(T_\gamma) = e^{-\lambda T_\gamma} = \frac{\gamma}{100}.$$

После логарифмирования, с учетом (2.11), получаем

$$T_\gamma = -\frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{\gamma}{100}\right) = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{100}{\gamma}\right) = T_{\text{н.ср.}} \ln\left(\frac{100}{\gamma}\right). \quad (2.12)$$

Предположим, что в формуле (2.12) $\gamma = 90\%$. Это означает, что не менее 90% ИС из рассматриваемой совокупности должны безотказно работать в течение времени T_γ (или, что то же самое, вероятность безотказной работы в течение времени T_γ должна быть не ниже 0,9). Таким образом, из выражения (2.12) находим

$$T_\gamma = T_{\text{н.ср.}} \ln\left(\frac{100}{90}\right) = 0,105 \cdot T_{\text{н.ср.}}$$

Полученный результат показывает, что гамма-процентная наработка при $\gamma=90\%$ составляет всего примерно 0,1 от средней наработки до отказа.

Если $\gamma=0,99$, то $T_\gamma = 0,01 \cdot T_{\text{н.ср.}}$, а при $\gamma=0,999$ - $T_\gamma = 0,001 \cdot T_{\text{н.ср.}}$.

Таким образом, с ростом требований по вероятности безотказной работы, т.е. с добавлением каждой девятки после запятой, гамма-процентная наработка уменьшается на порядок. Допустим, что мы имеем дело с аппаратурой построенной на ИС, имеющих интенсивность отказов 10^{-7} 1/ч . Гамма-процентная наработка при $\gamma=0,999$ составит согласно (2.12) 10^4 ч или почти один год и два месяца [38].

3. Гамма-процентный ресурс T_γ^{PEC} определяется выражением [31]

$$1 - Q(T_\gamma^{\text{PEC}}) - P(T_\gamma^{\text{PEC}}) = \frac{\gamma}{100},$$

Практика показывает, что интенсивность отказов λ для большинства технических изделий (в т.ч. ИС) имеет относительно постоянные значения не на всех этапах своей «жизни» (рис. 2.3) [51].

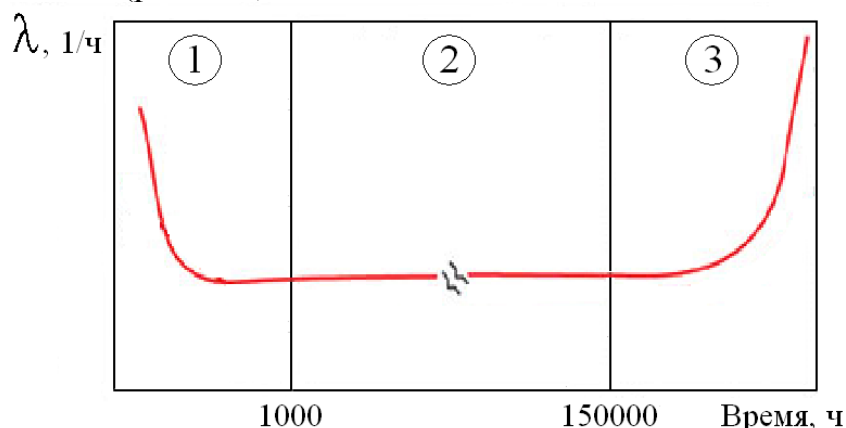


Рис. 2.3. Типовая зависимость интенсивности отказов ИС от времени:
1 – период приработки (ранние отказы); 2 – период нормальной работы (случайные отказы); 3 – период старения (износные отказы)

В течение первого периода интенсивность отказов сначала велика, а затем быстро падает. Ранние отказы возникают, как правило, вследствие конструктивных и технологических недостатков ИС. В нормальных условиях работы этот период длится до 1000 ч или примерно 6 недель. На окончании этого этапа указывается выравнивание кривой интенсивности отказов. Интенсивность отказов в период приработки имеет тенденцию к уменьшению по мере усовершенствования конструкции и технологии. Второй период является основным для нормальной работы ИС, для которого значения λ относительно постоянны. Период старения для ИС наступает примерно через 25 – 30 лет нормальной работы; интенсивность отказов здесь начинает вначале медленно, а затем более быстро возрастать. Однако данная стадия у ИС только предполагается.

Значения λ , соответствующие периоду нормальной работы, приводятся в справочниках по надежности (ТУ и других технических документах) и используются в качестве контрольных цифр при испытаниях ЭКБ, а также при прогнозировании надежности более сложных структур (узлов, блоков, ЭВМ).

2.2. Оценка надежности ИС

В технических заданиях (ТЗ) на разработку ИС, стандартах и ТУ устанавливают следующие показатели надежности [8]:

- интенсивность отказов при испытаниях, $\lambda_{\text{И}}, 1/ч$;
- интенсивность отказов при эксплуатации, $\lambda_{\text{Э}}, 1/ч$;
- интенсивность отказов при хранении, $\lambda_{\text{ХР}}, 1/ч$;
- минимальная наработка до отказа, $T_{\text{МИН}}^{\text{Н}}, ч$;
- гамма-процентный ресурс, $T_{\gamma}^{\text{РЕС}}, ч$;
- минимальный срок сохраняемости, $T_{\text{МИН}}^{\text{СХ}}, ч$.

Интенсивность отказов при испытаниях $\lambda_{\text{И}}$ является групповым показателем безотказности совокупности изделий конкретного типа, зависит от конст-

рукции, уровня технологии, стабильности технологического процесса, качества материалов, определяет уровень контроля качества и надежности изделий. Показатель интенсивности отказов при испытаниях не следует использовать при прогнозе надежности аппаратуры.

Интенсивность отказов при эксплуатации λ_3 является показателем безотказности совокупности изделий конкретного типа или группы типов (с общими функциональными, конструктивными и технологическими характеристиками, изготавливаемых из одинаковых материалов), который применяется для прогноза надежности аппаратуры.

Значение λ_3 зависит от качества изготовления изделий, режимов и условий их применения в аппаратуре, а также мероприятий, принятых разработчиком по обеспечению надежности аппаратуры.

Прогноз показателя интенсивности отказов при эксплуатации производится с учетом статистических данных по другим аналогичным изделиям, полученных из сферы эксплуатации.

В ТЗ на изделия указывают прогнозируемое значение показателя интенсивности отказов при эксплуатации. В ТУ на изделия в разделе «Указания по эксплуатации» указывают справочное значение λ_3 , соответствующее условиям эксплуатации наземной стационарной аппаратуры при номинальной (указанной в ТЗ и ТУ на ИС) электрической нагрузке и температуре окружающей среды 25°C. Значения λ_3 выбирают из ряда, определяемого выражением

$$\lambda_3 = m \cdot 10^{-n}, \text{ ч}^{-1},$$

где $m=1, 2, 3, 5$; $n=6, 7, 8, 9, 10$ и т.д.

Для ИС, предназначенных для применения в конкретных видах аппаратуры, работающих в жестких условиях эксплуатации, значения λ_3 применяют с повышающим коэффициентом.

Показатель $\lambda_{\text{хр}}$ часто отсутствует в ТЗ, ТУ и стандартах на ИС и может приводиться в справочниках по надежности.

Значения минимальной наработки $T_{\text{мин}}^{\text{H}}$ для определенных режимов и условий указывают в ТЗ, стандартах и ТУ на ИС. Например, согласно СОТУ [16] показатель $T_{\text{мин}}^{\text{H}}$ должен быть не менее 100000 ч.

Гамма-процентный ресурс T_{γ}^{PEC} указывают в ТЗ в виде предполагаемого значения, а в стандартах и ТУ на изделия в виде справочного значения. Значение T_{γ}^{PEC} устанавливают не менее $2T_{\text{мин}}^{\text{H}}$. Значение γ устанавливают в стандартах и ТУ на ИС с минимальной наработкой 5000 ч и более – 90 или 95% [8].

Значение минимального срока сохраняемости $T_{\text{мин}}^{\text{CX}}$ приводят в ТЗ, стандартах и ТУ на изделие. Например, согласно СОТУ [16] минимальный срок сохраняемости ИС при их хранении в отапливаемом хранилище или в хранилище с регулируемой влажностью и температурой или местах хранения ИС, вмонтированных в защищенную аппаратуру, или находящихся в защищенном комплекте ЗИП, должен быть 25 лет. Для других условий хранения значение определяется по табл. 2.2.

Таблица 2.2

Срок сохраняемости ИС

Место хранения ИС	Срок сохраняемости ИС, г	
	в упаковке предприятия-поставщика	вмонтированных в аппаратуру (в составе незащищенного объекта) или в комплекте ЗИП
Неотапливаемое хранилище	16,5	16,5
Под навесом	12,5	12,5
На открытой площадке	хранение не допускается	12,5

Срок сохраняемости исчисляют с даты изготовления, указанной на корпусе ИС.

Показатели надежности ИС оценивают расчетными (как правило, на этапах разработки) и экспериментальными (после получения готовых ИС) методами.

Испытания на надежность подразделяют на контрольные и определительные [30, 31].

2.3. Контрольные испытания

Испытания на надежность проводят для проверки соответствия количественных показателей надежности изделий микроэлектроники требованиям стандартов или ТУ. Для оценки или контроля этих показателей выполняют испытания на безотказность, долговечность и сохраняемость.

Испытания на безотказность проводят для контроля безотказности изделий микроэлектроники в течение времени, достаточного для выявления дефектов, которые могут возникнуть в процессе изготовления и привести к отказам.

Испытания ИС на безотказность проводят по планам одноступенчатого контроля, приведенным в табл. 2.3 [16].

Таблица 2.3

Планы одноступенчатого контроля ИС по группам К-2, П-2 и С-5

Степень интеграции микросхем	Объем выборки, n, шт		Приемочное число, C, шт.
	К-2, П-2	С-5	
ИС1, ИС2	80	50	0
ИС3	50	30	
ИС4	30	20	
ИС5	25	15	
ИС6	15	10	

Примечание. Испытания по группам К-2 и П-2 проводятся в течение 1000 ч; по группе С-5 – в течение 96 ч.

Испытания на долговечность проводят с целью подтверждения минимальной наработки до отказа, установленной в ТЗ, стандартах и ТУ на ИС (согласно [16] $T_{\text{мин.}}^H = 100000$ ч). Испытания проводит служба технического контроля изготовителя при участии представителя заказчика.

Испытания на долговечность ИС проводят в нормальных климатических условиях и в предельно-допустимых электрических режимах эксплуатации по планам одноступенчатого контроля, установленным для группы К-8 и приведенным в табл. 2.4 [9, 16].

Таблица 2.4

Планы контроля испытаний на долговечность по группе К-8

Степень интеграции микросхем	Объем выборки, n, шт	Приемочное число, C, шт.
ИС1, ИС2	25	0
ИС3	20	
ИС4	15	
ИС5	12	
ИС6	10	

Испытания на долговечность проводят в течение 1000 ч (если $T_{\text{мин.}}^H \geq 1000$ ч). Испытания на долговечность являются, как правило, продолжением испытаний на безотказность. За начало испытаний на долговечность принимают начало испытаний на безотказность.

При испытаниях на безотказность и долговечность проверяют соответствие изделий микроэлектроники требованиям минимальной наработки на отказ. Так как испытания часто проводятся до появления одного – двух отказов, то в этом случае весьма сложно получить фактические данные по надежности изделий.

Результаты испытаний считают положительными, если в выборке не обнаружено ни одного отказа.

При обнаружении одного отказа отгрузку принятых партий изделий останавливают, а испытания продолжают до окончания. Изготовитель совместно с представителем заказчика анализируют изделие, не выдержавшее испытания, а также по окончании испытаний анализирует все остальные изделия выборки с помощью методов неразрушающего контроля, в необходимых случаях – вскрытием (разборкой) изделий, и устанавливает причины отказа, а также отсутствие в остальных изделиях дефектов, вызвавших отказ.

Если анализ покажет, что отказ связан с качеством изделий, и нет других изделий с дефектами, вызвавшими отказ, то проводят испытания дополнительной выборки изделий, равной по объему испытанной выборке.

Если при испытании дополнительной выборки обнаружен хотя бы один отказ или при испытаниях первой выборки обнаружено более одного отказа, либо, кроме одного отказа, обнаружено изделие (изделия) с дефектами, приво-

дящими к отказам, результаты испытаний считают отрицательными. При отрицательных результатах испытаний приемку изделий прекращают. Изготовитель на основе анализа причин появления дефекта разрабатывает и согласовывает с представителем заказчика план мероприятий по устранению причин отказов и реализует его в производстве. Новые испытания на безотказность и долговечность проводят на выборке изделий, изготовленных после реализации плана мероприятий [9].

Испытания на сохраняемость проводят с целью проверки соответствия изделий требованиям по сохраняемости, установленным в ТЗ, стандартах и ТУ на изделия, накопления информации о сроках сохраняемости и разработки рекомендаций по увеличению минимального срока сохраняемости.

Испытания на сохраняемость являются самостоятельной категорией испытаний. Испытания проводит служба технического контроля изготовителя совместно с представителем заказчика.

Испытания ИС на сохраняемость начинают с первого квартала второго года серийного производства микросхем. Испытания проводят на одном (любом) типе ИС от данной серии (например, серии 1533) и результаты испытаний распространяют на все микросхемы данной серии. Тип ИС для испытаний устанавливают по согласованию с представителем заказчика [9].

Если в серию входят ИС с разными типами корпусов, то испытания проводят на любом типе микросхем каждого корпусного исполнения. Результаты испытаний в этом случае распространяют на ИС в корпусах данного типа [16].

Испытания на сохраняемость проводят методом длительного хранения или методами ускоренных испытаний на сохраняемость, что устанавливают в стандартах и ТУ на изделия.

Испытания на сохраняемость методом длительного хранения проводят одновременно в условиях отапливаемого хранилища при температуре среды от 5°C до 40°C, относительной влажности до 80% при 25°C и ниже и в условиях, соответствующих хранению изделий под навесом с защитой от непосредственного воздействия атмосферных осадков и солнечного излучения. Продолжительность испытаний должна быть не менее минимального срока сохраняемости изделия, установленного в стандартах и ТУ ($T_{\text{мин}}^{\text{сх}}$).

Изделия закладывают на испытания не позднее трех месяцев после приемки представителем заказчика. Объем выборки ИС для каждого условия хранения (табл. 2.2) определяется согласно табл. 2.5 [9].

Параметры – это критерии годности изделий, которые контролируют перед испытаниями, в процессе и после испытаний. Перечень параметров (критериев) и периодичность их контроля устанавливают в ТЗ, стандартах и ТУ на изделия.

Таблица 2.5

Объем выборки ИС для каждого условия хранения

Степень интеграции микросхем	Объем выборки в каждом условии хранения, n, шт.	Объем частей выборки и периодичность их отбора в каждом условии хранения	
		Количество	Периодичность отбора
ИС1, ИС2	160	20	Ежеквартально два года
ИС3, ИС4	100(80)	20(10)	
ИС5 и выше	40	5-10	

В конце испытаний на сохраняемость проводят испытания на безотказность (как указано выше), но при этом объем выборки не должен превышать объема выборки, испытываемой на сохраняемость.

При обнаружении отказов изготовитель при участии представителя заказчика анализирует изделия, не выдержавшие испытания, и устанавливает причины отказов.

На основе анализа изготовитель при необходимости разрабатывает и согласовывает с представителем заказчика план мероприятий по повышению сохраняемости изделий текущего производства (с учетом мероприятий, проведенных за контролируемый период), или изготовитель при участии представителя заказчика принимает решение о необходимости уточнения в стандартах и ТУ на изделия конкретного типа норм параметров критериев годности изделия, которые могут изменяться в течение минимального срока сохраняемости в силу физических свойств изделий.

После окончания испытаний с положительными результатами испытания продолжают для накопления информации о номинимальном сроке сохраняемости и для разработки рекомендаций по его увеличению.

Определительные испытания на надежность проводят для установления (определения статистическим методом) фактических количественных показателей надежности изделий одного типа. При определительных испытаниях проверяют закономерность распределения отказов изделий данного типа. К этому виду испытаний относятся ресурсные, специальные и граничные.

Испытания на гамма-процентный ресурс проводят с целью определения (или уточнения) значения T_y^{PEC} . Испытания проводит служба технического контроля изготовителя при участии представителя заказчика. Испытания ИС на гамма-процентный ресурс являются продолжением испытаний на долговечность (т.е. проводятся при квалификационных испытаниях установочной партии). Испытания на гамма-процентный ресурс проводят в режимах, в условиях и по планам одноступенчатого контроля на выборке объемом, установленным в стандартах и ТУ на изделия для испытаний на долговечность.

При определении (установлении) экспериментального значения $T_{\gamma}^{\text{PEC*}}$ испытания проводят до получения числа отказов d , определяемого из равенств $d = 0,05n + 1$ (при $\gamma = 95\%$) или $d = 0,1n + 1$ (при $\gamma = 90\%$).

Значения $T_{\gamma}^{\text{PEC*}}$ определяют по середине интервала между временем появления двух последних отказов [9].

Специальные испытания проводят для определения интенсивности отказов каждого типа изделий.

Граничные испытания проводят для определения запасов устойчивости изделий к воздействию механических, тепловых и электрических нагрузок. Кроме того, при этих испытаниях определяют запас прочности элементов конструкций изделий. Граничные испытания проводят до выхода испытываемых изделий из строя по мере увеличения интенсивности воздействующих факторов.

По мере совершенствования ИС, расширения их функциональных возможностей, создания БИС и СБИС испытания их на надежность становятся недостаточно эффективными, а зачастую и нецелесообразными. Возникают трудности не только экономического, но чисто технического характера, так как затрудняется анализ причин отказов. Для таких изделий микроэлектроники эффективными являются *тестовые методы оценки надежности*, основанные на испытании тестовых ИС. При этом результаты испытаний тестовых ИС распространяются на реальные ИС, что обходится значительно дешевле. При испытаниях тестовых ИС удастся собрать более разнообразный статистический материал, что позволяет минимизировать общие затраты для оценки надежности БИС.

Различают нормальные и ускоренные испытания ИС. Ускоренные испытания могут проводиться в нормальном или форсированном режимах [31].

2.4. Определение справочных данных по надежности

Справочные данные по надежности элементов определяют по результатам обобщения данных испытаний на безотказность, долговечность и сохраняемость и по результатам специальных испытаний [9]. Кроме того, допускается в справочник по надежности вносить справочные данные, определенные по результатам эксплуатации. Эти данные указывают отдельно от данных, полученных при испытаниях.

Специальные испытания для определения справочных данных могут проводить научно-исследовательские организации или предприятия отрасли, научно-исследовательские организации потребителя и заказчика.

Справочные данные по надежности изделий определяют для режимов и условий испытаний на безотказность, долговечность и сохраняемость при установленных критериях годности, а также для любых других режимов и условий, допускаемых в стандартах и ТУ на изделия (включая и облегченные), и иных критериях годности. Справочные данные по надежности приводят для изделий конкретного типа. Допускается по согласованию с заказчиком приводить спра-

вочные данные для группы различных типов изделий, имеющих одинаково функциональное назначение, сходную технологию изготовления, близких по режимам и условиям применения.

Экспериментальное значение интенсивности отказов элементов, работающих под нагрузкой λ^* (а также – интенсивности отказов при хранении λ_{XP}^*), вычисляют по формулам

$$\lambda^* = \frac{d}{T_{\text{СУМ}}}; \lambda_{\text{XP}}^* = \frac{d}{T_{\text{СУМ.ХР.}}},$$

где d – полученное число отказов;

$T_{\text{СУМ}}$ – суммарная наработка до отказа элементов, работающих под нагрузкой, ч;

$T_{\text{СУМ.ХР.}}$ – суммарное время хранения элементов до отказа, ч.

Параметры $T_{\text{СУМ}}$ и $T_{\text{СУМ.ХР.}}$ вычисляют по формуле

$$T_{\text{СУМ}} (T_{\text{СУМ.ХР.}}) = \sum_{i=1}^n t_i,$$

где n – число наблюдаемых элементов;

t – время наработки до отказа i -го элемента (при хранении – время хранения i -го элемента до отказа).

Если число отказов равно нулю, то значения λ^* и λ_{XP}^* вычисляют по формулам

$$\lambda^* = \frac{0,69}{T_{\text{СУМ}}}; \lambda_{\text{XP}}^* = \frac{0,69}{T_{\text{СУМ.ХР.}}}. \quad (2.13)$$

Для повышения достоверности испытания часто проводят до соблюдения условия: $d \geq 5 \dots 10$ [25].

Оценки, полученные по формулам (2.13), являются точечными. Определение значений их верхних доверительных границ λ^{*B} и λ_{XP}^{*B} осуществляют по статистическим таблицам χ^2 – распределения при уровнях значимости 60 и 90%.

Например, при $T_{\text{СУМ}} = 10^8$ ч и $d=5$ находим: $\lambda^* = 5 \cdot 10^{-8}$ (точечная оценка); $\lambda^{*B} = 6,3 \cdot 10^{-8}$ (верхняя доверительная граница λ^{*B} при уровне значимости 60%) и $\lambda^{*B} = 9,3 \cdot 10^{-8}$ (верхняя доверительная граница λ^{*B} при уровне значимости 90%) [9].

Значение точечной оценки интенсивности отказов $\tilde{\lambda}_и$, полученной при обобщении результатов испытаний проведенных в различных условиях, определяют по формуле [9]

$$\tilde{\lambda}_{\text{и}} = \frac{d}{\sum_{j=1}^s r_j T_{\text{сум}j}},$$

где d – число отказов;

r_j – коэффициент пересчета для j -го режима испытаний ($j=1, 2, \dots, s$), определяемый экспериментально изготовителем;

s – количество режимов испытаний;

$T_{\text{сум}j}$ – суммарная наработка на отказ элементов в j -м режиме, ч;

j – номер режима испытаний.

Суммарную наработку элементов до отказа вычисляют по формуле

$$T_{\text{сум}j} = \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij},$$

где n_j – количество наблюдаемых элементов в j -м режиме;

t_{ij} – время наработки i -го элемента в j -м режиме, ч;

i – номер элемента из группы, испытанных в j -м режиме ($i=1, \dots, n_j$).

Если суммарное число $d=0$, точечную оценку интенсивности отказов принимают равной

$$\tilde{\lambda}_{\text{и}} = \frac{0,69}{\sum_{j=1}^s r_j T_{\text{сум}j}} \quad (P^* = 0,5),$$

где P^* – уровень вероятности.

Верхнюю доверительную границу $\lambda_{\text{и}}^{P^*}$ вычисляют по формуле

$$\tilde{\lambda}_{\text{и}}^{P^*} = \frac{K^*}{\sum_{j=1}^s r_j T_{\text{сум}j}},$$

где K^* – коэффициент, равный квантилю χ^2 -распределения, зависящий от величины d и уровня значимости.

При $d=5$ и уровне значимости 60 и 90% верхняя доверительная граница $\lambda_{\text{и}}^{P^*}$ равна: $\lambda_{\text{и}}^{P^*} = 6,3 \cdot 10^{-8}$ (верхняя доверительная граница λ^{*B} при уровне значимости 60%) и $\lambda_{\text{и}}^{P^*} = 9,3 \cdot 10^{-8}$ (верхняя доверительная граница λ^{*B} при уровне значимости 90%) [9].

Для проведения испытаний в нормальном режиме (например, в лабораторных условиях при номинальных значениях воздействующих на ИС электрических и климатических факторов) при $T_{\text{сум}} = 10^8$ (даже если все элементы будут испытываться параллельно) потребуется 11415,535 лет⁸. Поэтому определительные испытания современных ИС, как правило, проводят в форсированном режиме.

⁸ Один год равен 8760 ч.

Форсированный режим испытаний обычно задается повышенными значениями температурных и электрических воздействий (например, температура иногда может достигать 200...300⁰С, напряжение питания может превышать допустимое на 20...25% и т.д.). Результаты, полученные при повышенных нагрузках, экстраполируют на нормальные условия эксплуатации. Основное требование, предъявляемое к ускоренным испытаниям в форсированном режиме, – идентичность процессов старения и износа по отношению к испытаниям в нормальных условиях.

Для сопоставления результатов испытаний в нормальном и форсированном режимах вводят коэффициенты ускорения. Под коэффициентом ускорения понимают отношение времени испытаний в нормальном режиме t_H к времени испытаний в форсированном режиме t_U при условии равенства значений вероятностей безотказной работы в обоих случаях. Обычно используют два коэффициента ускорения: K_y^T (вызванный температурой) и K_y^U (вызванный напряжением). При совместном воздействии температуры и напряжения рассчитывается обобщенный коэффициент ускорения, обычно как произведение $K_y = K_y^T K_y^U$. В настоящее время значения коэффициентов ускорения могут быть > 100 .

За базовую модель зависимости интенсивности отказов от температуры принимается уравнение Аррениуса. В 1889 году шведский ученый Сванте Аррениус вывел это уравнение эмпирически, изучая влияние температур на скорость превращения сахарозы, за что был удостоен Нобелевской премии в области химии. Это уравнение приближенно описывает многие деградационные процессы и отказы ИС, в том числе ионный дрейф, диффузию примесей, образование интерметаллических соединений, ползучесть, кристаллографические микроперестройки конструкционных материалов. Уравнение Аррениуса в равной степени хорошо описывает появление отказов ИС при воздействии повышенной температуры, как в период приработки, так и в период старения.

Специалисты фирмы Analog Devices, Inc (ADI) считают, что 1000 ч испытаний при 125⁰С эквивалентно 10 годам при температуре 55⁰С [51].

Экспериментальную интенсивность отказов FR(Failure Rate) ведущие фирмы изготовители ИС (например, Siemens AG, ADI, Atmel, Xilinx, Altera, QuickLogic, Actel) рекомендуют оценивать по результатам ЭТТ [25, 63] по формуле

$$FR = \frac{\chi_{(x,v)}^2}{2NT_H K_y} \cdot 10^9 \text{ FIT}, \quad (2.14)$$

где $\chi_{(x,v)}^2$ – квантиль χ^2 -распределения;

N – количество испытываемых ИС;

T_H – время испытаний;

K_y – обобщенный коэффициент ускорения;

x – доверительная вероятность, связанная с уровнем значимости C.L. (confidence level) соотношением: $1 - C.L.$ (Фирмы Atmel и ADI в своих расчетах значения C.L. принимают 60 и 90%).

$$v = (2d + 2),$$

где d – количество отказавших ИС.

Величину $NT_{иKy}$ называют приведенным полным временем испытаний (EDH – Equivalent Device Hours).

Средняя наработка до отказа (MTTF - Mean Time to Failure) определяется как

$$MTTF = 10^9 / FR \text{ [FIT]} .$$

Рассмотрим пример из [46].

Из генеральной совокупности выпуска ADI взята выборка объема (Overall Sample Size) 57981 EDH = 6372926872. Число отказов (Quantity Fails) $n = 33$.

Расчет:

$$v = 2d + 2 = 68; C.L. = 60 \% = 0,6; x = 1 - C.L. = 0,4.$$

Из статистических таблиц [23] находим $\chi^2_{(0,4;68)} = 70,315$. Тогда

$$FR = \frac{70,315}{2 \cdot 6372926872} 10^9 = 5,56 \text{ FIT} = 5,56 \cdot 10^{-9} \text{ 1/ч.}$$

При C.L. = 90% = 0,9; $x = 1 - 0,9 = 0,1$; $\chi^2_{(0,1;68)} = 83,308$ и далее

$$FR = \frac{83,308}{2 \cdot 6372926872} 10^9 = 6,54 \text{ FIT} = 6,54 \cdot 10^{-9} \text{ 1/ч.}$$

ADI принимает для своей продукции FIT = 6.

Ранее по методике [9] были определены значения

$\lambda^{*B} = 6,3 \cdot 10^{-8}$ (при уровне значимости 60%) и

$\lambda^{*B} = 9,3 \cdot 10^{-8}$ (при уровне значимости 90%), полученные при $T_{сум} = 10^8$ ч и $d=5$.

Для сравнения рассчитаем эти же значения по формуле (2.14):

а) при уровне значимости 60%, находим $\chi^2_{(0,4;12)} = 12,584$ и далее

$$FR = \frac{12,584}{2 \cdot 1000000000} 10^9 = 62,92 \text{ FIT} = 6,29 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч.}$$

б) при уровне значимости 90%, находим $\chi^2_{(0,1;12)} = 18,549$ и далее

$$FR = \frac{18,549}{2 \cdot 1000000000} 10^9 = 92,745 \text{ FIT} = 9,274 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч.}$$

То есть результаты расчетов по обеим методикам аналогичны.

3. СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

В процессе серийного и массового производства в каждой i -й партии готовых ИС объемом N_i , как правило, содержится несколько изделий (их количество обозначим D_i) с явными или скрытыми дефектами, выявляемыми на выходном контроле и испытаниях. Долю дефектных ИС в i -й партии обозначим $Q_i = D_i/N_i$. Величину Q_i также называют уровнем дефектности (или «засоренности»). В каждой партии ИС даже одного типоминнала уровень «засоренности» (в силу действия случайных факторов), как правило, не является постоянной величиной и может изменяться от Q_{\min} до Q_{\max} . Изготовителю значения D_i и Q_i неизвестны (он лишь может предполагать некоторые средние их оценки, исходя из опыта предыдущих проверок аналогичных ИС). Поэтому количество дефектных изделий в партии и уровень «засоренности» рассматриваются как случайные величины D и Q , соответственно (причем, D – как случайная дискретная величина, принимающая только целые значения).

Как показано выше, для готовых ИС применяется как сплошной, так и одноступенчатый выборочный контроль, схема которого приведена на рис. 3.1.

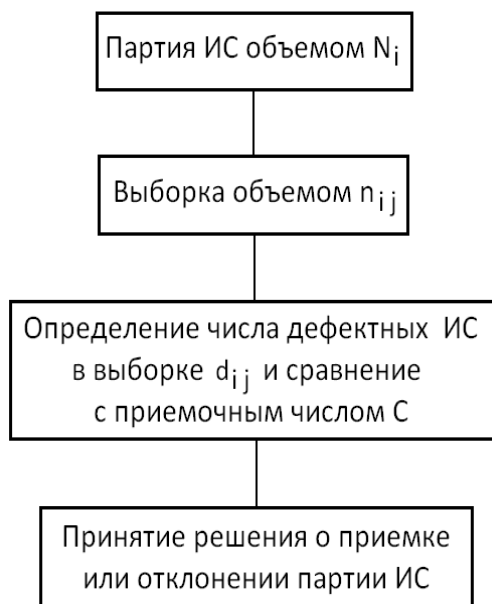


Рис. 3.1. Схема одноступенчатого выборочного контроля

Рассмотрим частные случаи.

1. В контролируемой партии ИС отсутствуют дефектные изделия (т.е. $Q_i = 0\%$); такая партия будет принята как при сплошном, так и выборочном контроле с вероятностью 100%; другими словами, риск поставщика (обозначаемый как α) не сдать такую партию равен 0%.

2. В контролируемой партии ИС все изделия дефектные (т.е. $Q_i=100\%$); такая партия будет отклонена как при сплошном, так и выборочном контроле также с вероятностью 100%. Другими словами, риск потребителя (обозначаемый как β) принять такую партию равен 0%.

3. В контролируемой партии ИС присутствуют как годные, так и дефектные изделия (т.е. $0\% < Q_i < 100\%$); этот случай более реальный и принятие решения о приемке или отклонении партии здесь зависит от ряда факторов. При сплошном контроле дефектные изделия могут быть изъяты, а годные переданы потребителю. При выборочном контроле возможны варианты, приведенные в табл. 3.1.

Таблица 3.1

**Варианты результатов выборочного контроля (испытаний)
партии ИС с числом дефектных изделий Q_i**

Результаты контроля j-й выборки, взятой из i-й партии	Возможные оценки партии	Комментарии
$d_{ij} \leq C$	$\frac{C}{n} < Q_i$	Доля дефектных изделий в партии выше, чем приемочное число. Потребителю прием такой партии невыгоден.
	$\frac{C}{n} = Q_i$	Поставщик и потребитель довольны сделкой.
	$\frac{C}{n} > Q_i$	То же самое, но поставщик мог продать дороже (величина C/n оказалась несколько завышенной).
$d_{ij} > C$	$\frac{C}{n} < Q_i$	Потребитель получил партию с завышенным числом дефектных изделий.
	$\frac{C}{n} = Q_i$	Поставщику немного не повезло. Он стремился продать партию дороже (величина C/n оказалась несколько заниженной), но это не удалось.
	$\frac{C}{n} > Q_i$	Поставщику крупно не повезло. Он не сдал годную партию.

В качестве примера рассмотрим партию ИС ($N=2000$ шт.), в которой находится 140 дефектных изделий (но эта цифра может быть определена только после проведения 100%-го контроля всей партии). Уровень дефектности $Q=140/2000=7\%$. Если 100%-й контроль всей партии по каким-то причинам не возможен (большая стоимость, необходимость использования разрушающих методов контроля и т.п.), то такой контроль проводится на части партии (выборке). Разделим партию на h выборок по n изделий в каждой ($n < N$, $n \cdot h = N$, например,

Таблица 3.2

	4	3	7	2	5	4	2	0	4	3
	2	4	3	6	7	9	0	8	3	5
	3	0	2	2	1	8	5	2	1	6
	5	2	6	0	4	1	4	3	1	3

На контроле может оказаться любая из выборок с числом дефектных изделий от d_{\min} до d_{\max} (в нашем примере – от 0 до 9). При выборочном контроле по одной выборке поставщик договаривается с потребителем, что последний принимает всю партию в N шт., если число дефектных изделий в контролируемой выборке не превысит некоторого числа C , называемого приемочным (пусть для нашего примера $C=5$). Проведем на графике (рис. 3.2) соответствующую линию.

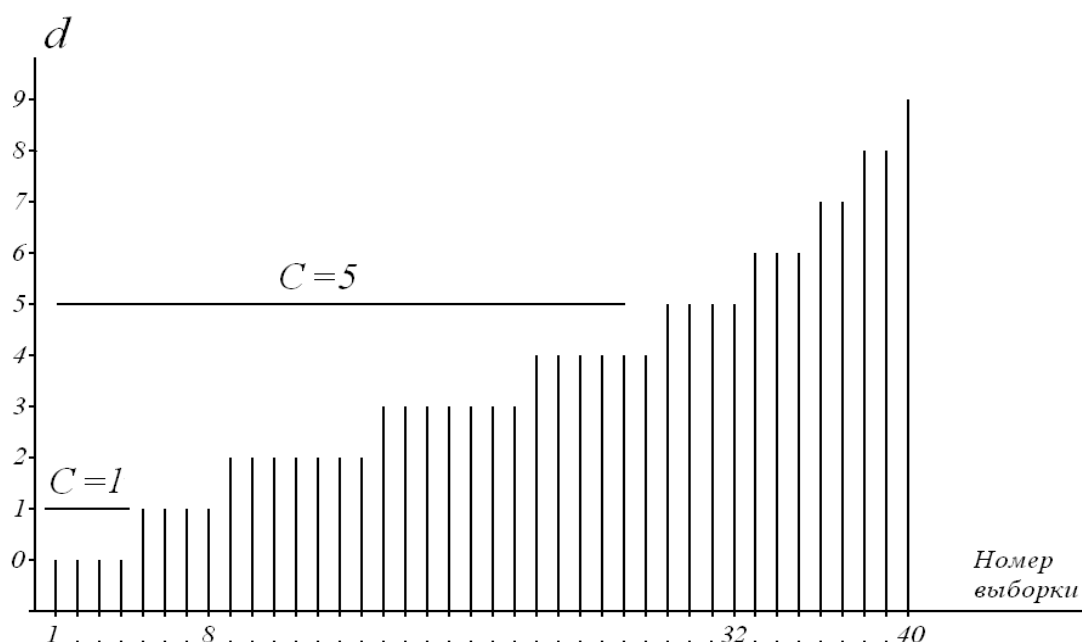


Рис. 3.2. Диаграмма одноступенчатого контроля

45

(в примере – $32/40=80\%$). Вероятность того, что партия будет забракована, может быть оценена как отношение количества выборок с $d > C$ к общему числу выборок h (в примере – $8/40=20\%$, или $100\%-80\%=20\%$). Таким образом, если на контроль случайно попадет одна из выборок с номерами 33...40, то будет забракована вся партия ИС ($N=2000$ шт.), хотя при сплошном 100%-м контроле эта партия была бы принята. Партия с допустимым уровнем «засоренности» ($7\% < C/n = 5/50 = 10\%$) оказалась отклоненной из-за случайного характера распределения дефектных изделий по выборкам. В этом случае риск поставщика составил $\alpha=20\%$.

Если для этой же партии будет установлено приемочное число $C=1$, то вероятность сдачи партии (как следует из рис. 3.2) составит $8/40=20\%$ (только выборки с номерами 1...8 удовлетворяют требованию $d \leq C$). Партия будет забракована, если на контроль попадут выборки с $d > C$ (в нашем примере это одна из выборок с номерами 9...40). Таким образом, с вероятностью 20% к потребителю (на совершенно законных основаниях) попадет партия с повышенным уровнем дефектности (т.е. в этом случае рискует потребитель и его риск составляет $\beta=20\%$).

Вероятность приемки партии изделий в зависимости от уровня дефектности $P(Q)$ определяют по формулам, таблицам или по графику оперативной характеристики (ОХ).

ОХ одноступенчатого выборочного контроля обычно строится из предположения распределения количества дефектных изделий d по выборкам объемом n , взятых из партии объемом N и содержащей D дефектных изделий по гипергеометрическому закону.

Поскольку число дефектных изделий в партии равно D , то ровно d дефектных изделий могут быть выбраны C_D^d способами. Оставшиеся в выборке $n-d$ изделий являются годными и могут быть выбраны из общей совокупности $N-D$ числом способов, равным C_{N-D}^{n-d} . Следовательно, выборка может быть сформирована в составе d дефектных и $n-d$ годных изделий $C_D^d C_{N-D}^{n-d}$ способами. Независимо от числа дефектных изделий d выборка объемом n из партии в N элементов может быть сформирована C_N^n способами. Полагая, что при формировании выборки отбор элементов производится случайным образом, что обеспечивает равную вероятность любого состава выборки из C_N^n возможных составов, вероятность получить ровно d дефектных изделий в выборке размером n определится из выраже-

$$P(d) = \frac{C_D^d C_{N-D}^{n-d}}{C_N^n}. \quad (3.1)$$

Распределение случайной величины d , задаваемое формулой (3.1), называется гипергеометрическим.

Подставляя в выражение (3.1) последовательно $d=0, 1, 2$ и т.д., получим

$$P_0(d=0) = \frac{C_D^0 C_{N-D}^{n-0}}{C_N^n}; \quad P_1(d=1) = \frac{C_D^1 C_{N-D}^{n-1}}{C_N^n}; \quad P_2(d=2) = \frac{C_D^2 C_{N-D}^{n-2}}{C_N^n} \quad \text{и т.д.}$$

Партия будет признана годной, если на контроль попадут выборки с числом дефектных элементов, не превышающим приемочного числа C (т.е. выборки

с $d=0, d=1, d=2, \dots, d=C$). Таким образом, вероятность приемки партии $P_{\text{ПРМ}}$ будет равна

$$P_{\text{ПРМ}} = \sum_{d=0}^C \frac{C_D^d C_{N-D}^{n-d}}{C_N^n}.$$

Вводя замену $D=NQ$, получим выражение для вероятности приемки партии $P(Q)$ в виде функции от уровня дефектности партии Q для конкретных значений N ,

$$P_{\text{ПРМ}} = P(Q) = \sum_{d=0}^C \frac{C_{NQ}^d C_{N-NQ}^{n-d}}{C_N^n}, \quad (3.2)$$

где C_N^n – число сочетаний из N по n , определяемое как

$$C_N^n = \frac{N!}{n!(N-n)!}.$$

Остальные сочетания в выражении (3.2) вычисляются аналогично.

Если $N \geq 10n$, то гипергеометрическое распределение сводится к биномиальному.

Представим формулу (3.1) в следующем виде

$$P(d) = \frac{C_D^d C_{N-D}^{n-d}}{C_N^n} = \frac{D!}{d!(D-d)!} \cdot \frac{(N-D)!}{(n-d)!(N-D-(n-d))!} \cdot \frac{n!(N-n)!}{N!}. \quad (3.3)$$

При $N \geq 10n$ возможно приближенное равенство

$$\frac{N!}{(N-n)!} \approx N^n.$$

Например, при $n=5$ получим

$$\frac{N!}{(N-5)!} = \frac{N(N-1)(N-2)(N-3)(N-4)(N-5)!}{(N-5)!} = N(N-1)(N-2)(N-3)(N-4) \approx N^5.$$

По аналогии (заменяя $D=NQ$), запишем

$$\begin{aligned} \frac{(N-D)!}{[(N-D)-(n-d)]!} &= \frac{(N-NQ)!}{[(N-NQ)-(n-d)]!} \approx (N-NQ)^{n-d} = N^{n-d}(1-Q)^{n-d}; \\ \frac{D!}{(D-d)!} &= \frac{(NQ)!}{(NQ-d)!} \approx (NQ)^d = N^d Q^d. \end{aligned}$$

Подставляя полученные выражения в формулу (3.3), получим

$$P(d) \approx C_n^d \frac{N^d Q^d N^{n-d} (1-Q)^{n-d}}{N^n} = C_n^d Q^d (1-Q)^{n-d}, \quad (3.4)$$

где $C_n^d = \frac{n!}{d!(n-d)!}.$

Правая часть выражения (3.4) представляет собой биномиальное распределение случайной дискретной величины d .

Выражение для $P_{\text{ПРМ}}$ при $N \geq 10n$ имеет следующий вид

$$P_{\text{ПРМ}} = P(Q) \approx \sum_{d=0}^C C_n^d Q^d (1-Q)^{n-d}. \quad (3.5)$$

На рис. 3.3 приведены кривые ОХ, построенные для рассмотренного выше примера при $N=2000$, $n=50$ и различных значений приемочного числа $C=1$, $C=3$ и $C=5$. Координаты ОХ рассчитаны по формуле (3.5), поскольку $N \geq 10n$. Из графиков следует, что при одном и том же уровне дефектности (например, $Q=7\%$)

с уменьшением значения приемочного числа C вероятность отклонения партии (риски поставщика α_5 , α_3 и α_1) возрастает.

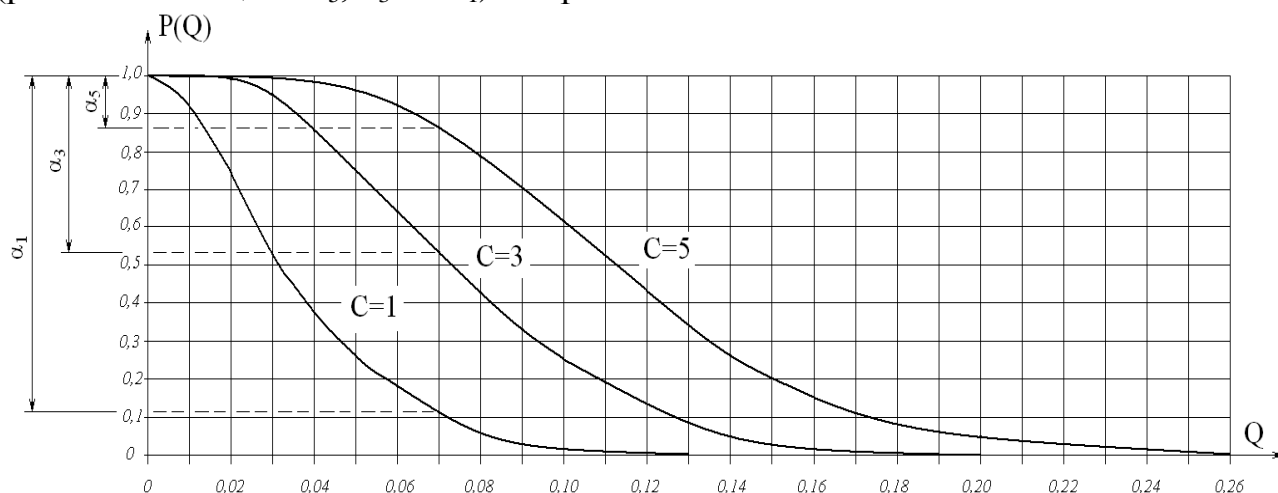


Рис. 3.3. Оперативные характеристики одноступенчатого контроля, построенные при $C=1$; $C=3$ и $C=5$

При $C=0$ (дефектных изделия в выборке быть не должно, но они могут быть в оставшейся части принимаемой партии), выражение (3.5) принимает вид

$$P(Q) = (1 - Q)^n. \quad (3.6)$$

На рис. 3.4 приведены операционные характеристики, координаты которых рассчитаны по формуле (3.6) при $C=0$ и разных объемах выборок.

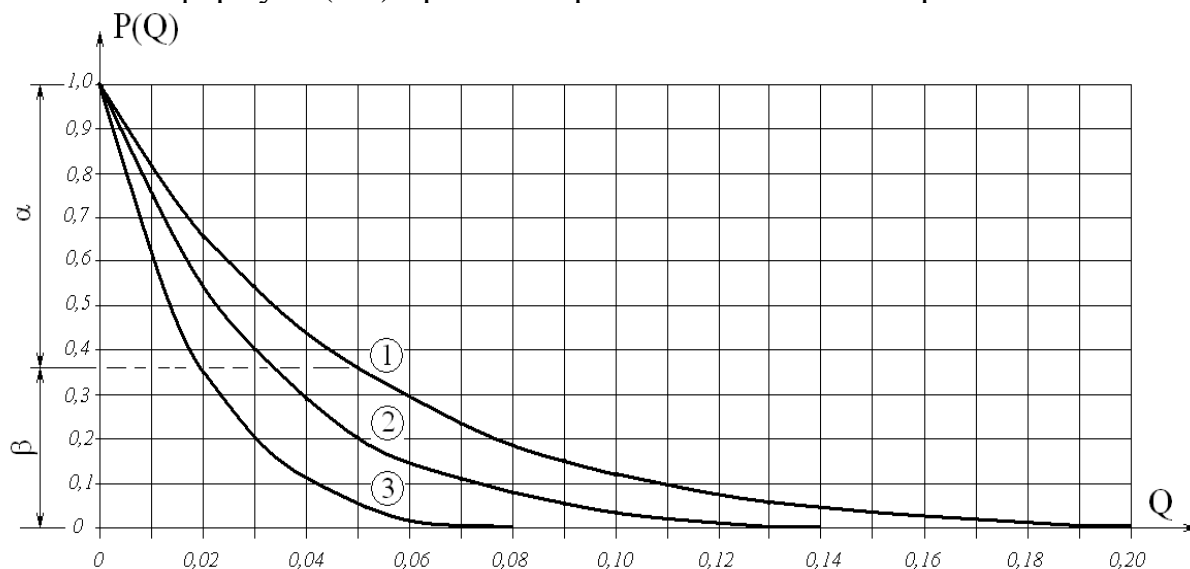


Рис. 3.4. Операционные характеристики, построенные при $C=0$: 1 – $n=10$; 2 – $n=20$; 3 – $n=30$

Из рис. 3.4 следует, что при $C=0$ с увеличением объема выборки, вероятность отклонения партии, содержащей дефектные элементы растет (как и риск изготовителя α), соответственно вероятность приемки такой партии (как и риск потребителя, определяемый для этого случая как $\beta=1-\alpha$) уменьшается. Таким образом, при выборочном одноступенчатом контроле, даже при приемочном числе $C=0$, потребитель может получить партию с дефектными элементами.

4. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

Обеспечение высокого качества ЭКБ возможно только на основе комплексного подхода к решению этой проблемы на всех этапах жизненного цикла создания и эксплуатации ЭКБ.

Процесс создания любого электронного изделия (как ЭКБ, так и ЭВМ СН) укрупненно может быть представлен в виде схемы, приведенной на рис. 4.1 [35]. Три стадии – проектирование, производство и эксплуатация изделий – включают в себя три взаимосвязанных процесса: обеспечение требуемого качества, контроль качества и управление качеством.

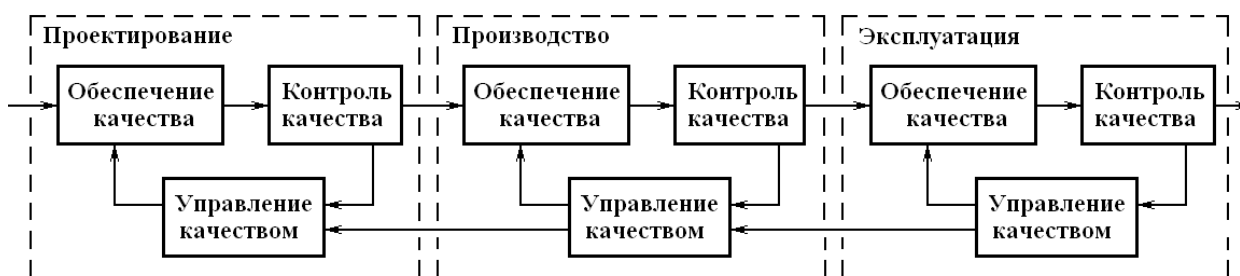


Рис. 4.1. Схема обеспечения, контроля и управления качеством

Наиболее типичной организационной структурой предприятия, разрабатывающего и выпускающего электронные средства (как ЭКБ, так и ЭВМ СН), является научно-производственное объединение (НПО), например, НПО «Интеграл», НПО автоматики, НПО «Хартрон» и др. [12], состоящее из предприятия-разработчика (обычно НИИ) и опытного завода-изготовителя.

Взаимосвязь подразделений единой службы управления качеством (как системы) НПО представлена на рис. 4.2 [26].

Система управления качеством (СУК) включает совокупность организационных, технических, информационных и экономических методов и средств для планомерного воздействия на условия и факторы, влияющие на качество продукции на этапах проектирования, производства и эксплуатации.

В результате контроля и испытаний электронных средств накапливается информация, которая после ее обработки, систематизации и обобщения используется для организации управляющих воздействий на всех этапах «жизненного» цикла изделия.

Общая цель СУК изделий на любом уровне – создание продукции высокого качества при минимальных затратах.

Постоянно растущие требования к качеству и надежности ЭКБ (и особенно ИС), быстрая смена номенклатуры в условиях опытного и мелкосерийного производства, усложнение процессов их разработки и производства приводит к необходимости постоянной координированной и целенаправленной деятельности по обеспечению требуемого уровня качества разрабатываемой и выпускаемой ЭКБ.



Рис. 4.2. Вариант структуры единой службы управления качеством НПО

Отсюда вытекает необходимость создания согласованных и стыкуемых между собой на всех этапах СУК [35].

В области управления качеством ЭКБ специального назначения в можно выделить четыре взаимосвязанные системы (на примере ИС).

1. СУК ИС на этапе разработки и изготовления.
2. СУК ИС на этапе применения (разработки и изготовления ЭВМ СН).
3. СУК ИС на этапе эксплуатации (в составе ЭВМ СН).
4. Межотраслевая СУК ИС.

4.1. Системы управления качеством ИС на этапе разработки и изготовления

Обеспечение качества начинается при формулировке ТЗ на разработку. Уровень качества, планируемый ТЗ, с одной стороны должен быть достаточно высоким, чтобы удовлетворить требованиям потребителя, а с другой – должен соответствовать технологическому уровню существующего производства и быть экономически сбалансированным. Таким образом, при составлении ТЗ закладываются те технические и технологические параметры, которые будут определять качество изделия. В процессе разработки опытного образца и нестандартного технологического оборудования, конструкторской и технологической документации особое значение приобретают проблемы комплексной стандартизации. Последняя обуславливается разработкой изделия в соответствии с параметрическими рядами и строго регламентируемыми сетками параметров, применением типовых технологических процессов и типового технологического оборудования, стандартизацией применяемых материалов и режимов испытаний. Широкое применение базовых конструкций и узлов (т.е. уже освоенных и проверенных в производстве и

эксплуатации, например, корпусов ИС) в процессе разработки также создает предпосылки для производства изделий высокого качества. Процесс разработки нового электронного изделия сопровождается широкими испытаниями материалов, узлов и самих изделий, имеющими важное значение при формировании качества. Для эффективного функционирования СУК в процессе разработки должно осуществляться **планирование качества**, предусматривающее:

- разработку СУК для данного изделия;
- мероприятия по разработке технологии контроля и контрольного оборудования;
- экономическое регулирование процессов формирования и поддержания качества, включая вопросы ценообразования и стимулирования;
- прогнозирование качества;
- мероприятия по повышению уровня качества продукции в СУК.

В процессе разработки опытных образцов оценивается качество используемых материалов, разрабатываемой документации и нестандартного технологического оборудования, качество опытных образцов, в том числе соответствие их нормам ТЗ. Результаты анализа информации о качестве используются в СУК на этапе разработки. Схема СУК ИС на этапе разработке и изготовления приведена на рис. 4.3 [35].

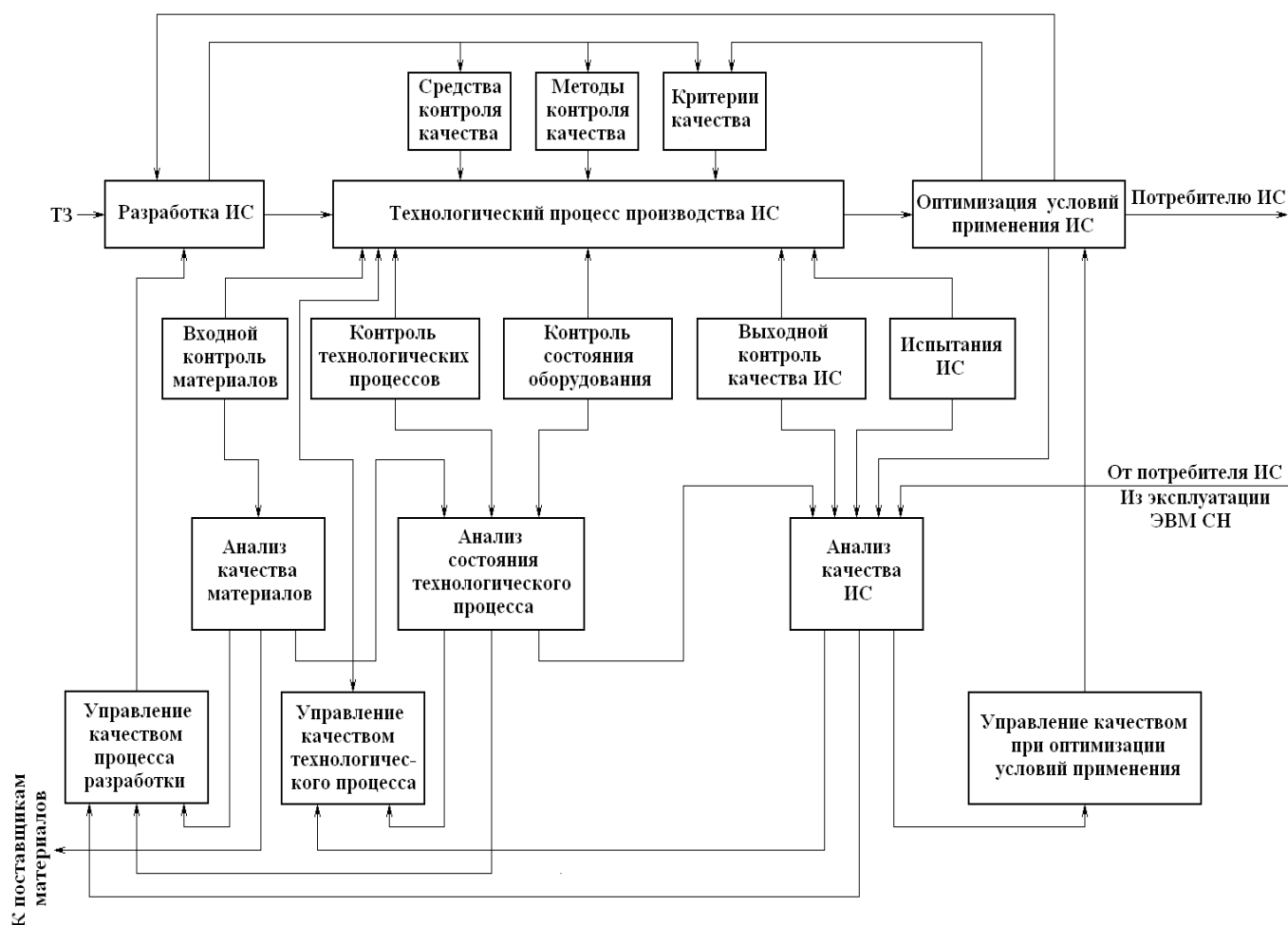


Рис. 4.3. Схема СУК ИС на этапе разработки и изготовления

Используя результаты анализа информации, полученной при контроле качества применяемых материалов, технологических процессов, оборудования и готовых ИС, можно управлять технологическими процессами, корректировать режимы применения и воздействовать на разработку или модернизацию изделий. Сложность технологического процесса (ТП) производства ИС, его зависимость от временных и температурных факторов, от стабильности среды и энергоносителей привели к необходимости разработки управляемых ТП. Большие объемы выпуска ИС позволили эффективно применять различные статистические методы контроля. Так, если для обеспечения заданного уровня качества в производстве широко применяется статистический контроль, то для управления ТП используется текущий предупредительный контроль, а в цехах большой эффект получается от внедрения методов совмещенного контроля на взаимосвязанных технологических операциях – текущего и приемочного статконтроля. Отсюда очевидна связь между двумя системами управления: системой управления качеством и системами управления технологическими процессами.

Основными условиями обеспечения высокого качества изделий являются [7]:

- разработка программ обеспечения качества (ПОК) и выполнение мероприятий, предусмотренных в ПОК;
- соблюдение требований конструкторской и технологической документации, а также организация контроля за выполнением ее требований;
- применение высококачественных материалов, полуфабрикатов и комплектующих элементов;
- систематический анализ дефектных изделий⁹ и принятие необходимых мер по устранению причин возникновения дефектов;
- соблюдение ритмичности выпуска изделий;
- оснащенность производства необходимыми средствами испытаний, измерений и контроля;
- проведение испытаний в соответствии с требованиями стандартов и технических условий на изделия конкретных классов (групп, серий) и типов;
- аттестация производства.

Программа обеспечения качества – это документ, регламентирующий комплекс взаимосвязанных требований, правил и организационно-технических мероприятий, подлежащих выполнению при разработке и производстве изделий и направленных на обеспечение показателей качества, установленных в ТЗ на опытно-конструкторскую работу (ОКР), стандартах и ТУ на изделия.

Программа обеспечения качества разрабатывают на стадиях:

- 1) разработки изделий (ПОКр);
- 2) производства изделий

⁹ Анализ дефектных изделий – это комплекс работ, при выполнении которых исследуют дефектные изделия, устанавливают причины появления дефектов и вырабатывают рекомендации по их устранению [7].

для этапов:

- освоения производства и изготовления установочной серии изделий (ПОКо);
- установившегося серийного производства изделий (ПОКп).

ПОКр разрабатывают на этапе эскизного проекта (а при его отсутствии на следующем за ним этапе) под руководством главного конструктора разработки изделия с участием служб контроля качества, главного технолога, главного метролога, стандартизации, а также, при необходимости, других служб предприятия-разработчика.

В ПОКр в общем случае предусматривают следующие основные мероприятия:

- сбор сведений о показателях качества аналогичных по функциональному назначению отечественных и зарубежных изделий и их анализ;
- предварительную оценку уровня качества и эффективности различных вариантов конструктивных и технологических решений изделий и обоснование выбранных вариантов с учетом опыта серийного производства аналогичных изделий;
- определение перечня параметров и характеристик, по которым должны быть установлены производственные запасы¹⁰;
- разработку перечня материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий;
- разработку предложений по созданию новых методов и средств (включая неразрушающие) контроля качества разрабатываемых изделий;
- разработку программы испытаний и проведение испытаний макетов изделий для предварительного определения работоспособности изделий и правильности схемно-конструктивных решений;
- мероприятий по выполнению современных требований к организации и условиям разработки изделий;
- выявление и отработку технологических операций, в наибольшей степени влияющих на качество изделий;
- разработку схемы операционного контроля;
- выбор методов и критериев отбраковки изделий со скрытыми дефектами;
- разработку программы испытаний изделий на соответствие требованиям ТЗ, проведение испытаний и предварительную оценку качества изделий;
- выбор оптимального уровня стандартизации и унификации изделий;
- определение состава технологического оборудования, средств измерений и испытаний изделий;
- оценку технологичности изделий и стабильности технологического процесса;
- разработку системы регулирования технологического процесса на операциях, в наибольшей степени влияющих на показатели качества изделий, на основе данных статистического контроля;
- оценку качества опытных образцов изделий по результатам испытаний;
- оценку наличия производственных запасов;

¹⁰ Производственный запас – это разница между фактическим значением параметра (показателя качества) изделия и значением, указанным в стандартах и ТУ на изделие [7].

- анализ причин возникновения выявленных в процессе изготовления и испытаний опытных образцов дефектов изделий и разработку плана мероприятия по их устранению;
- контроль качества работы (труда) рабочих, контролеров и инженерно-технических работников.

ПОКо разрабатывают до начала изготовления установочной серии изделий, а ПОКп – не более одного месяца после ее приемки.

ПОКо и ПОКп разрабатывает служба главного технолога с участием служб главного конструктора, главного метролога, контроля качества и стандартизации, а также, при необходимости, других служб изготовителя.

В ПОКо в общем случае предусматривают следующие мероприятия:

- проверку готовности производства к реализации разработанного технологического процесса изготовления изделия, его оснащенности современным технологическим и испытательным оборудованием, обеспеченности необходимой документацией;
- осуществление авторского надзора;
- подбор, обучение и аттестацию рабочих, контролеров и инженерно-технических работников¹¹;
- анализ причин возникновения дефектов, выявленных в процессе освоения установочной серии изделий, и разработку плана мероприятий по их устранению;
- корректировку конструкторской и технологической документации (при необходимости);
- проведение мероприятий по выполнению современных требований к организации условий производства изделий;
- отработку операционного контроля, включая неразрушающий;
- оценку наличия производственных запасов;
- разработку системы сбора и обработки информации о качестве изделий на всех участках производства изделий;
- контроль качества работы (труда) рабочих, контролеров и инженерно-технических работников.

На этапе установившегося серийно производства изделий в ПОКп в общем случае предусматривают следующие основные мероприятия:

- проведение статистического контроля с целью оценки качества изделий по установленным планам контроля и по результатам сравнения обобщенных данных с базовыми показателями качества;
- контроль наличия производственных запасов;
- применение методов статистического регулирования при изготовлении деталей, сборочных единиц и готовых изделий;

¹¹Аттестация рабочих, контролеров и инженерно-технических работников – это оценка качества труда и уровня профессиональной подготовки рабочих, контролеров и инженерно-технических работников [7].

- применение методов неразрушающего контроля;
- операционный контроль по разработанной в ПОКр схеме;
- выявление и изъятие изделий, имеющих скрытые дефекты, с применением неразрушающих методов контроля;
- анализ причин возникновения дефектов, выявленных при изготовлении, испытаниях и в эксплуатации, разработку плана мероприятий по оперативному воздействию на производственный процесс;
- организацию систематического анализа влияния свойств материалов, полуфабрикатов и комплектующих элементов на качество изделий и разработку предложений по улучшению их качества и внесению соответствующих изменений в стандарты и ТУ на материалы, полуфабрикаты и комплектующие элементы;
- разработку плана мероприятий по совершенствованию конструкции, технологии изготовления и организации производства изделий и их внедрение;
- аттестацию рабочих, контролеров и инженерно-технических работников;
- контроль за правильностью ведения конструкторской и технологической документации, контроль за соблюдением технологической дисциплины, требований к средствам испытаний и измерений, контроль качества технологического оборудования, контроль качества изделий в процессе изготовления, контроль за соблюдением требований к организации и условиям производства, входной контроль качества материалов, полуфабрикатов и комплектующих элементов;
- контроль качества работы (труда) рабочих, контролеров и инженерно-технических работников;
- осуществление авторского надзора.

Производство ИС с приемкой «ОС» и «ОСМ» имеет следующие особенности [17, 18].

1. Изготовление ИС должно осуществляться по специальному комплексу конструкторской и технологической документации, включающему дополнительно к документации на ИС общего военного применения (ОВП) операционные и контрольные карты, предназначенные для изготовления ИС с приемкой «ОС».

2. Изготовление ИС должно производиться в специализированных цехах (участках, линиях); в отдельных технически и экономически обоснованных случаях изготовление ИС допускается производить на тех же участках (линиях), на которых изготавливают аналогичные ИС ОВП, при этом для наиболее ответственных технологических операций и испытаний используют специально выделенное оборудование¹².

3. На предприятии-изготовителе в соответствии с действующей НТД должны быть разработаны согласованные с представителем заказчика стандарты предприятия, устанавливающие:

- порядок проверки производственного оборудования, периодичность проверки и, в необходимых случаях, методы его проверки;

¹² В настоящее время вследствие высокой стоимости специализированного технологического оборудования производство ИС с разной приемкой обычно осуществляется на одной и той же линии, но с испытаниями по соответствующим программам; изготовление ИС с приемкой «5», «7» и «9» контролируется представителем заказчика

- порядок проверки выполнения требований, предъявляемых к производственным помещениям и рабочим местам (запыленность, влажность, температура, агрессивные среды);
- порядок проверки соблюдения установленного технологического процесса службами изготовителя и представителем заказчика;
- порядок учета, хранения, обращения конструкторской и технологической документации;
- порядок и методы входного контроля поступающих материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий;
- порядок проведения анализа дефектных ИС и осуществления мероприятий по устранению причин их появления, в т.ч. при отбраковочных испытаниях;
- порядок организации анализа и учета технологических потерь в производстве;
- порядок анализа рекламаций и согласования мероприятий, внедряемых в производство по результатам анализа;
- методы, критерии оценки и планы контроля при рентгеновском контроле ИС.
- порядок обучения и аттестации производственного персонала, участвующего в изготовлении и контроле качества ИС по всему технологическому процессу;
- порядок контроля стабильности технологического процесса и его статистического регулирования.

4.2. Системы управления качеством ИС на этапе применения (разработки и изготовления ЭВМ СН)

Важным звеном в системе управления качеством является этап применения, который специфичен для электронной промышленности из-за сложности определения оптимальных режимов и условий применения ЭКБ в ЭВМ СН. Для получения наилучших характеристик эксплуатационной надежности недостаточно. Требуется взаимная увязка норм, параметров, режимов в условиях применения в конкретной конструкции ЭВМ СН с учетом всех дополнительных воздействий на изделие. СУК на этапе применения ЭКБ (например, в процессе разработки и изготовления ЭВМ СН) приведена на рис. 4.4 [35].

В процессе разработки и изготовления ЭВМ СН вопросы качества ЭКБ наиболее остро стоят на следующих стадиях.

1. Выбор ЭКБ.
2. Входной контроль ЭКБ.
3. Испытания ЭКБ в составе ЭВМ СН.

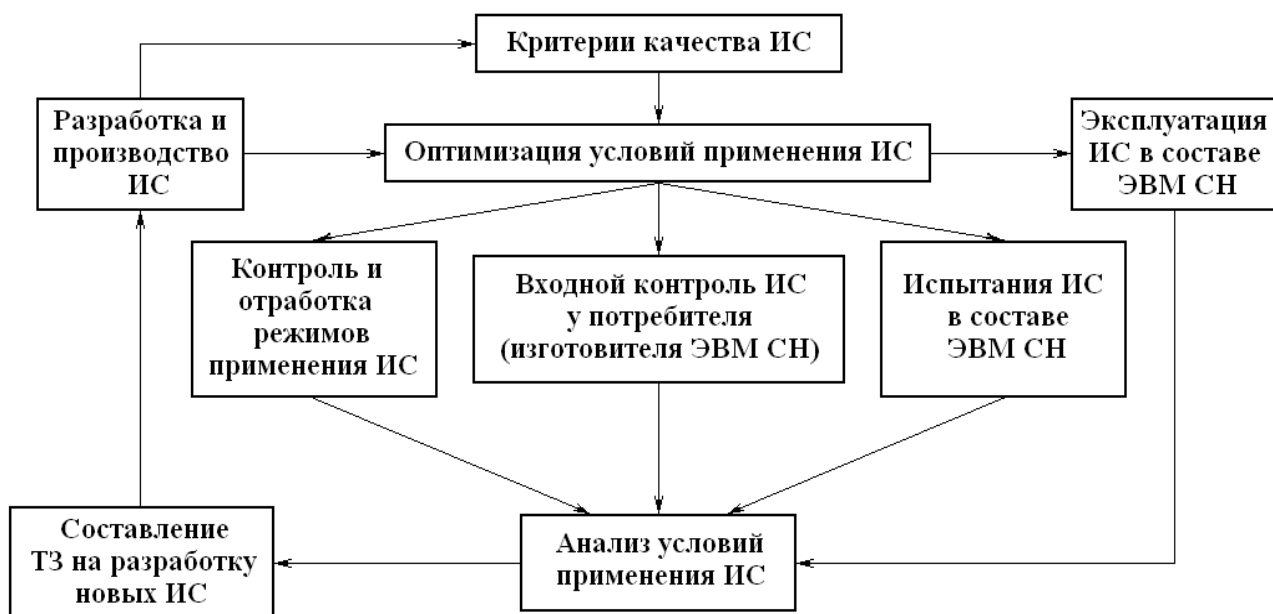


Рис. 4. 4. Схема СУК ИС на этапе применения (разработки и изготовления ЭВМ СН)

ЭКБ для ЭВМ СН должна выбираться из ежегодно издаваемого 22 ЦНИИИ МО «Перечня электрорадиоизделий (ЭРИ), разрешённых к применению при разработке (модернизации), производстве и эксплуатации аппаратуры, приборов, устройств и оборудования военного назначения». Этот документ состоит из нескольких частей по каждому виду ЭРИ, производимых в России и странах СНГ и разрешенных к применению в следующем году (например, перечни, действующие в течение 2013 г.: МОП 44 001.01-2012 ... МОП 44 001.21-2012). Кроме того, ЭКБ должна соответствовать требованиям комплекса стандартов «Климат–7» и обладать категорией качества «ВП», «ОС» или «ОСМ». Для ЭВМ СН используются как корпусные, так и бескорпусные ИС.

В ЭВМ СН, предназначенные для управления космическими аппаратами (КА) и межконтинентальными баллистическими ракетами, применяют радиационностойкую ЭКБ. В качестве ИС, устойчивых к различного рода космическим излучениям, а также к ядерному взрыву, применяют структуры «кремний на изоляторе», и чаще всего – «кремний на сапфире» (КНС). В настоящее время единственным реальным поставщиком БИС КМОП КНС в России является НПП «Сапфир» [57]. Эти схемы обеспечивают низкий уровень энергопотребления, использование при этом сапфировых подложек гарантирует высокую стойкость к импульсным радиационным воздействиям, а также повышает надежность микросхем. Вследствие невысокого процента выхода годных, стоимость БИС КМОП КНС может достигать 5000 руб. и более.

Недостаток номенклатуры и уровня качества отечественной ЭКБ привел в свое время к разрешению использовать в некоторых серийных образцах систем вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) в исключительных случаях ЭКБ импортного производства (как стыдливо писалось в официальных докумен-

тах, носящих название «ограничительных перечней», «до появления отечественных аналогов»). Естественно, в дальнейшей практике словосочетание «исключительный случай» обычно быстро забывалось [55].

Зарубежные ИС в зависимости от условий эксплуатации подразделяются на следующие типы [52].

ES (для работы при комнатной температуре);

PROTO (радиационно-стойкие прототипы, до тестирования на устойчивость к радиации);

C (commercial, коммерческий): температурный диапазон от 0°C до +70°C;

I (industrial, промышленный): температурный диапазон от –40°C до +80°C;

A (automotive, автомобильный): температурный диапазон от –40°C до +125°C;

M (military, военный): температурный диапазон от –55°C до +125°C;

B (стандарт MIL-STD-883 Class B): температурный диапазон от –55°C до +125°C;

E (для космической промышленности): температурный диапазон от –55°C до +125°C;

EV (для особо тяжелых условий эксплуатации): температурный диапазон от –55°C до +125°C, соответствуют требованиям стандарта MIL-PRF-38535 Class V.

Радиационно-стойкую ЭКБ маркируют в терминах радиационной стойкости (SEL, SEB, SEGR, SET, SEU, SHE SEFI, RH, RT, RHBD).

В настоящее время ограниченное применение ЭКБ иностранного производства (ИП) военного (или двойного) назначения в изделиях военной техники (ВТ) осуществляется в соответствии с Инструкцией Министерства обороны РФ по контролю применения ЭКБ ИП в системах, комплексах и образцах ВТ, утвержденной решением военно-промышленной комиссии (ВПК) при Правительстве РФ (протокол № 6с от 24.05.2011 г.)

По некоторым оценкам качества и надежности отечественная ЭКБ даже с приемкой «5» и «9» зачастую уступает зарубежной класса Industrial во всем диапазоне температурных и механических воздействий.

Поскольку отсутствует информация зарубежного производителя о надежности поставляемой ЭКБ в различных условиях ее применения, то требуется разработка методологического подхода и организация дополнительного контроля и испытаний для оценки ее пригодности в специзделиях.

Ни одно производство электронной аппаратуры не обходится без закупок материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий.

Качество закупок является важной составляющей системы качества любого предприятия [12] и включает в себя:

- необходимые контрактные условия, чертежи, документы на поставку и другую техническую информацию;

- выбор подходящих субподрядчиков;
- согласованный подход к обеспечению качества;
- согласованные методы проверки;
- положения, касающиеся решения спорных вопросов;
- процедуры входного контроля;
- средства проведения входного контроля;
- регистрацию данных о качестве поступающей продукции.

Особое внимание качеству поступающей продукции, и прежде всего – ЭКБ, уделяется на предприятиях, выпускающих сложные специализированные электронные системы, такие как: военная, ракетно-космическая и авиационная техника, аппаратура атомных электростанций, охранная и операционная медицинская аппаратура и т.п. Для таких систем приоритетным является требование безотказности в процессе эксплуатации, поскольку простой сбой в работе таких систем может привести к гибели людей или к значительным материальным затратам.

Необходимость введения **входного контроля ЭКБ** на предприятиях-изготовителях специзделий объясняется следующими причинами:

- отсутствием на многих предприятиях, выпускающих электронные компоненты, 100%-го выходного контроля, прежде всего из-за высокой стоимостью контроля в полном объеме; кроме того, при некоторых видах испытаний изделия просто не могут быть подвергнуты 100%-му контролю (например, при разрушающих испытаниях, когда изделия при испытании полностью или частично разрушаются);

- ЭКБ, даже соответствующая одним и тем же ТУ, может поступать от разных поставщиков, отличающихся культурой производства;

- возможными изменениями свойств ЭКБ в процессе ее транспортировки и хранения;

- необходимостью использования ЭКБ в условиях, не предусмотренных ТУ на них (например, при другой температуре, электрической нагрузке, механических воздействиях, повышенном уровне радиации и т.д.);

- экономической целесообразностью обнаружения дефектного компонента на более ранних стадиях (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Относительные затраты по замене бракованного элемента

Аппаратура	Место замены			
	на входном контроле	после монтажа на печатную плату	при испытании аппаратуры	при эксплуатации системы
Бытовая	1	2...3	2...3	25
Промышленная	1...2	10...15	25	100...120
Специальная	3...8	25...40	60...150	500...10000

Главная цель входного контроля – выявление дефектных и потенциально ненадежных компонентов, а также контрафактной продукции. Кроме того, в процессе входного контроля получают важную информацию, используемую в дальнейшем для совершенствования качества ЭКБ.

Объем входного контроля и его содержание, прежде всего, зависит от уровня качества поступающих компонентов, который в свою очередь является отражением общего состояния работ по качеству и надежности ЭКБ как в отдельных отраслях, так и в стране в целом.

Входной контроль применяют для исключения установки в ЭВМ СН ЭКБ с явными и скрытыми дефектами, а также контрафактной продукции.

Входной контроль ЭКБ устанавливают сплошным или выборочным. Для ЭКБ с индексом «ОС» обязателен сплошной входной контроль. [4].

При необходимости потребитель может проводить дополнительные проверки не предусмотренные установленными требованиями (например, если условия эксплуатации ЭКБ более жесткие, чем это указано в ТУ). Объем и методы проверки согласовываются между потребителем и поставщиком, а также с представительством заказчика.

Основными задачами входного контроля являются:

- 1) проверка наличия сопроводительной документации, удостоверяющей качество и комплектность ЭКБ;
- 2) контроль соответствия качества и комплектности ЭКБ требованиям КД и НТД и применения ее в соответствии с протоколами разрешения;
- 3) накопление статистических данных о фактическом уровне качества ЭКБ и разработки на этой основе предложений по повышению качества и, при необходимости, пересмотра требований НТД на ЭКБ;
- 4) периодический контроль за соблюдением правил и сроков хранения продукции поставщиков.

При выявлении в процессе входного контроля несоответствия установленным требованиям, ЭКБ бракуют и возвращают поставщику с предъявлением рекламаций (кроме случаев, когда ЭКБ проверялась в более жестких режимах, чем это предусмотрено ТУ).

При входном контроле ЭКБ на НПО, разрабатывающем ЭВМ СН, обычно проводятся следующие виды проверок (на примере ИС).

1. *Контроль внешнего вида.*
2. *Функциональный контроль* – проверка работоспособности всех ИС на основе таблиц истинности, устанавливающих зависимость выходных сигналов от входных воздействий.
3. *Параметрический контроль* – измерения электрических параметров испытуемой ИС и сравнение их с допустимыми цифрами, приводимыми в документации ее изготовителя. Обычно здесь же производится измерение таких информативных параметров как ток потребления или токи утечки, по которым судят о степени загрязнения кристалла и прочих дефектах ИС. ЭКБ с приемкой «5» или «9» проверяются в присутствии представителя заказчика предприятия-потребителя.

Функциональный и параметрический контроль проводятся на стандартном или нестандартном (но согласованном с поставщиком ЭКБ) оборудовании.

4. Тренировки. Известно, что в более жестких условиях эксплуатации (повышенной температуре и электрических нагрузках) ускоряется выявление скрытых дефектов ЭКБ. Поэтому контроль электрических параметров ИС должен производиться до и после тренировки с последующим сравнением и анализом результатов.

Тренировки, как метод отбраковки потенциально ненадежных ИС, применяются обычно в 2-х видах: термотренировки и электротермотренировки.

4.1. Термотренировка. ИС, находящиеся в таре (обычно в упаковке поставщика), помещают в камеру тепла (без подачи питания на ИС). Режимы термотренировки (температуру и время выдержки) устанавливают по согласованию с поставщиком ИС.

Термотренировки могут производиться в виде выдержки при температуре, близкой к максимальной (например, $+120^{\circ}\text{C}$), или минимальной (например, -60°C). Иногда используется чередование положительных и отрицательных температур (термоциклирование) путем переноса элементов из камеры тепла в камеру холода и обратно. Цель термоциклирования – выявление мест с несогласованностью коэффициентов теплового расширения отдельных частей ИС.

4.2. Электротермотренировка. Является эффективным, но дорогим методом отбраковки изделий, имеющих внутренние дефекты, не обнаруживаемые другими методами контроля. ЭТТ проводится в камере тепла с подключением элементов к контактному устройству. Испытания ИС обычно проводят при постоянной электрической нагрузке и максимально допустимой температуре. Некоторые методики предусматривают отбраковку не только ИС, параметры которых выходят за допустимые границы, но и тех ИС, в параметрах которых наблюдается временная «ползучесть» (к верхней или нижней границе, рис. 4.5). Такие элементы изымаются и используются для совместных исследований с изготовителем ИС.

Важной проблемой всех видов тренировок является выбор оптимального режима. Малое число зафиксированных отказов может трактоваться не только

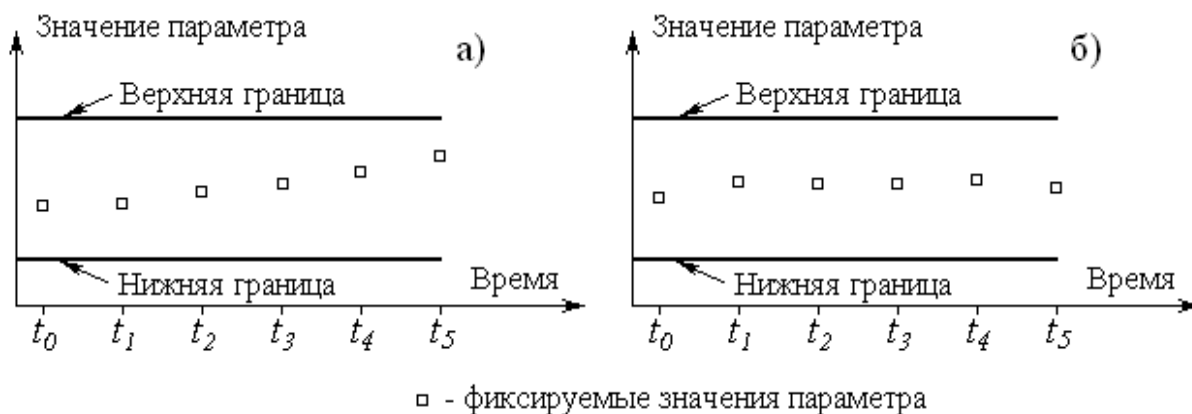


Рис. 4.5. Примеры изменений значений параметров ИС при ЭТТ:
а – наличие «ползучести»; б – отсутствие «ползучести»

как высокое качество элементов, но и как следствие недостаточной продолжительности испытаний и, наоборот, большое количество отказов может служить свидетельством чрезмерной продолжительности тренировки.

Обычно режимы тренировок выбираются исходя из:

- условий эксплуатации специзделий;
- допустимых режимов использования ЭКБ (согласно ТУ);
- имеющейся статистики по испытаниям специзделий и используемых в них типах ЭКБ.

Для ЭКБ, применяемой в ответственных изделиях, продолжительность тренировок может достигать 1000 часов. Такая же цифра приводится в военном стандарте США MIL-STD-883H [64].

5. *Диагностический неразрушающий контроль (ДНК)* – это процедура анализа результатов параметрического и функционального контроля без нанесения ущерба целостности ИС и без воздействия внешних разрушающих факторов. Результаты ДНК позволяют сделать вывод о потенциальном наличии (или отсутствии) скрытых дефектов, приводящих к снижению надежности ИС.

На основании результатов предшествующих исследований для каждого типа ИС устанавливают информативные параметры, по значениям которых можно косвенно судить о наличии того или иного скрытого дефекта (например, для большинства типов ИС хорошим информативным параметром считается ток потребления, резкие отклонения которого, как правило, связаны с загрязнениями кристалла и повышенными токами утечки).

Диапазон разброса измеряемых параметров может оказаться более жестким, чем оговоренный в ТУ. Проверки ДНК обычно вносятся в общую программу параметрического контроля. Элементы, не прошедшие ДНК, не рекламируются, а подлежат исследованию совместно с поставщиком для принятия мер по исключению выявленных дефектов в их производстве.

ДНК, как и контроль по «ползучести» параметров, позволяет отобрать наиболее качественную ЭКБ. Особенно это важно для случаев, когда условия эксплуатации специзделия более жесткие, чем это предусмотрено ТУ на ЭКБ.

В этом случае предприятие-изготовитель ЭВМ СН проводит отбор наиболее стойких ИС, проводя соответствующие испытания (как правило, ЭТТ). Отказавшие ИС в этом случае не могут считаться браком, так как испытывались в условиях, не соответствующих ТУ.

Важное место в СУК занимает правильное обращение с ЭКБ (например, исключение воздействия статического электричества и т.д.), Особое внимание уделяется бескорпусной ЭКБ, предназначенной для установки в микросборки. К хранению таких элементов предъявляются довольно жесткие требования по температуре, влажности и срокам хранения. В случае серьезного отказа ЭВМ СН в процессе эксплуатации по вине ЭКБ, как правило, назначается комиссия по выяснению причин. Поставщик ЭКБ будет стараться перенести ответственность на других исполнителей (разработчика, изготовителя или потребителя ЭВМ СН), доказывая, что были нарушения по применению, хранению, обращению и эксплуатации ЭКБ.

4.3. Системы управления качеством ИС на этапе эксплуатации (в составе ЭВМ СН)

СУК на этапе эксплуатации ЭВМ СН считается наиболее сложным этапом в обеспечении качества и надежности ЭКБ. Именно на этом этапе дается окончательная оценка качества ЭКБ, а, следовательно, и всех усилий, которые предпринимались в процессе разработки, производства и отработки условий применения ЭКБ для обеспечения ее высокого качества [35]. В сфере эксплуатации можно получить наиболее ценную информацию о качестве как ЭКБ, так и ЭВМ СН, однако для сбора этой информации требуется создание специальной системы. На предлагаемой схеме (рис. 4.6) [35] показаны направления контроля для получения необходимой информации о качестве ЭКБ.



Рис. 4. 6. Схема СУК ИС на этапе эксплуатации ЭВМ СН (в составе ЭВМ СН)

4.4. Межотраслевая система управления качеством ИС

Во времена Советского Союза недостаточная надежность отечественной ЭКБ (особенно – ИС) привела к необходимости создания довольно сложной (но в целом результативной) системы контроля качества и надежности, охватывающей как отдельные предприятия, так и целые отрасли. На рис. 4.7 приведен фрагмент такой системы, показывающий связь между изготовителями ЭКБ и ее потребителем – НПО – разработчиком и изготовителем систем управления на базе ЭВМ СН, а также включающий структуры, имеющие отношение к вопросам качества и надежности ЭКБ в отрасли и в стране.

Генеральным заказчиком систем ВВСТ всегда выступало Министерство обороны (МО).

Решения о всех крупных разработках ВВСТ, а также необходимых материалов и ЭКБ, принимались военно-промышленной комиссией (ВПК) при Совете министров СССР (ныне – ВПК при правительстве РФ). Эта же комиссия рассматривала и все проблемные вопросы качества создаваемых и уже созданных комплексов.

В состав ВПК входили руководители девяти оборонных министерств (так называемая «большая девятка»), на предприятиях которых разрабатывалась и выпускалась вся военная техника страны:

Министерство среднего машиностроения (вся атомная промышленность, включая боеприпасы);

Министерство общего машиностроения (ракетно-космическая техника);

Министерство машиностроения (боеприпасы, кроме атомного оружия);

Министерство авиационной промышленности;

Министерство оборонной промышленности;

Министерство судостроительной промышленности;

Министерство промышленности средств связи;

Министерство радиопромышленности;

Министерство электронной промышленности (вся элементная база).

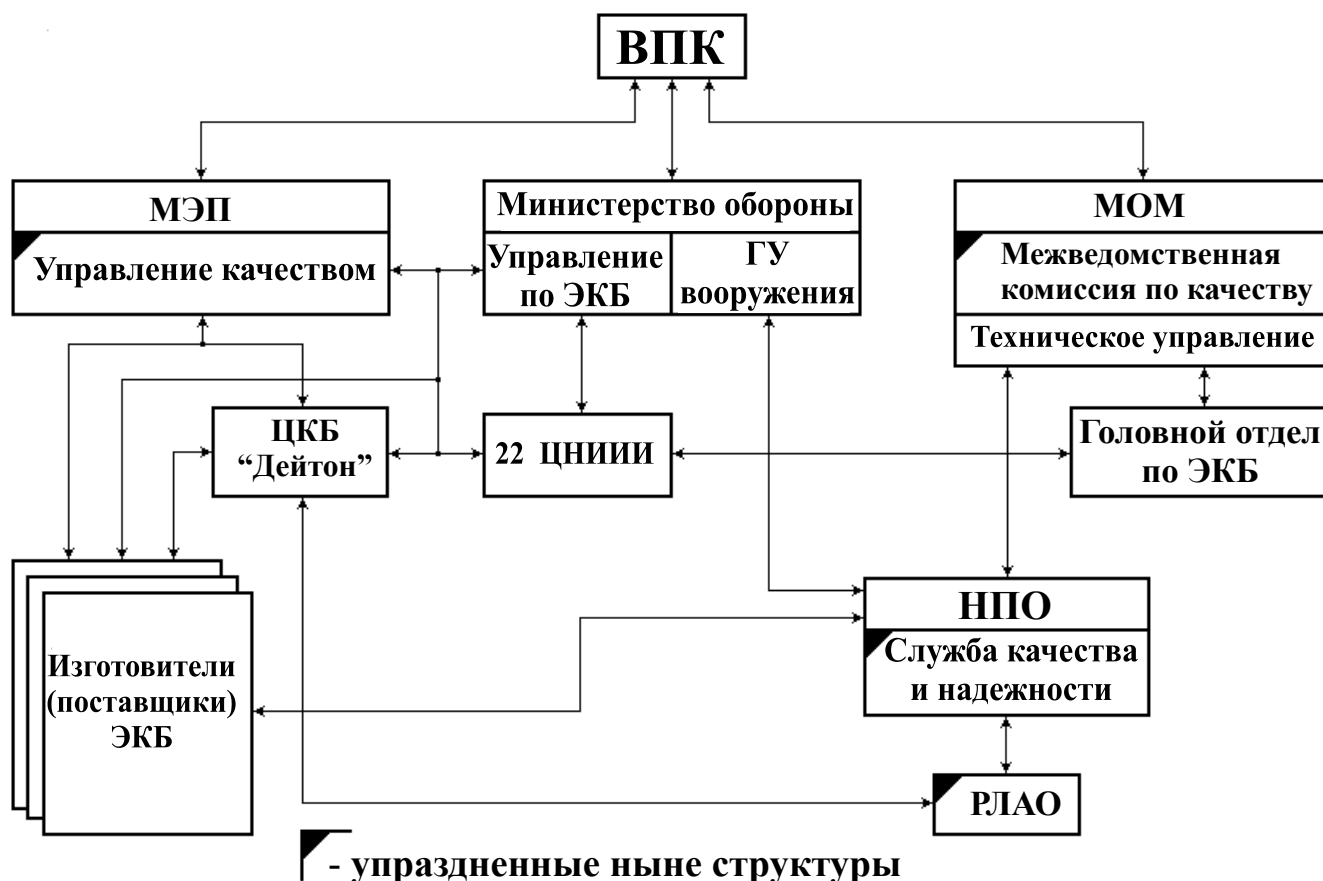


Рис. 4.7. Фрагмент «доперестроечной» системы контроля качества и надежности ЭКБ для специзделий

Наибольший опыт в создании ЭВМ был у предприятий радиопромышленности, хотя ЭВМ СН для специализированных систем управления разрабатывались и в других министерствах [30].

Вся ЭКБ в нашей стране создавалась на предприятиях Министерства электронной промышленности (МЭП).

На заседаниях ВПК (проводимых еженедельно) присутствовали также руководители Министерства обороны, Госплана, Академии наук. Решения ВПК были обязательны для всех министерств и ведомств страны.

С развитием радиоэлектронных средств вооружений (РЭСВ) и ЭКБ в Министерстве обороны создается Управление по ЭКБ (16-е Управление МО РФ), на которое возлагаются практически все основные управленческие и координационные функции [28] по:

- организации прогнозных исследований ЭКБ;
- формированию основных направлений и планов развития ЭКБ;
- обоснованию оптимального числа типов унифицированных изделий;
- разработке аппаратурно-ориентированных и комплексно-целевых программ создания ЭКБ для применения в жестких условиях эксплуатации;
- участию в разработке технических заданий на НИОКР в интересах всех видов вооруженных сил;
- осуществлению военно-научного сопровождения разработок ЭКБ;
- проведению государственных испытаний ЭКБ;
- формированию «Перечня ЭРИ...», разрешенных для применения при разработке (модернизации) военной РЭА;
- проведению экспертизы правильности применения ЭКБ и подконтрольной эксплуатации РЭСВ в войсках.

В это же управление поступают сведения по отказам специзделий, находящихся в эксплуатации, причинами которых была ЭКБ.

Проблемные вопросы, требующие дополнительных научно-технических исследований, решаются 22-м Центральным научно-исследовательским испытательным институтом Министерства обороны РФ (ныне ФГУП «22 ЦНИИИ МО»).

Специфика, сложность и комплексность перечисленных выше задач обусловили разработку в Минобороны системы управления развитием межвидовой ЭКБ и предопределили главную роль 16-го Управления Минобороны в организации работ по их решению с широким привлечением других министерств и ведомств. Система управления развитием ЭКБ постоянно совершенствовалась и, в целом, подтвердила свою эффективность и оперативность. Определяющим элементом системы является разработка и обоснование требований Минобороны к техническим и эксплуатационным характеристикам, к рациональной номенклатуре ЭКБ, объемам и срокам ее разработки и производства при реализации Государственной программы вооружения.

В основу методологии определения рациональных направлений развития ЭКБ были положены следующие основные принципы:

- обоснование сбалансированного развития ЭКБ на основе анализа потребностей вооружений и военной техники (ВВТ), возможностей организаций (предприятий) оборонных отраслей промышленности, финансовых и других ресурсов;

- рациональное распределение и концентрация ресурсов на наиболее приоритетных направлениях развития ЭКБ;

- использование имеющегося научно-технического задела с учетом инфраструктуры промышленности по реализации планов и программ.

На работы по созданию ЭКБ в интересах Минобороны разработчик изделия разрабатывал проект технического задания, который согласовывался с основным потребителем изделия Минобороны и утверждался руководством Министерства электронной промышленности. В процессе выполнения работы ее ход контролировался военным представителем на этом предприятии. По завершению разработки изделие проходило государственные испытания и принималось комиссией, состав которой согласовывался с Министерством обороны. Председателем комиссии по приемке изделий, разработанных в интересах Минобороны, был ее представитель. По результатам испытаний принималось решение о возможности поставки данного изделия и оно включалось в «Перечень ЭКБ», разрешенных для применения в военной аппаратуре.

Электронные компоненты, прошедшие государственные испытания и принятые представителями военной приемки 16-го Управления МО, поставлялись для разработок аппаратуры и эксплуатации во всех видах радиоэлектронных средств вооружения и военной техники. С целью систематизации и унификации требований Министерства обороны к РЭСВ и ЭКБ по условиям их применения по инициативе 16-го Управления МО при головной роли 22 ЦНИИ Минобороны были разработаны комплексы государственных военных стандартов «Мороз» и «Климат», содержащие требования, нормы и методы испытаний на аппаратуру, ЭКБ и материалы, применяемые в военной электронике.

В связи с появлением и принятием на вооружение ядерного оружия по инициативе заказывающих управлений Министерства обороны и в соответствии с решением ВПК с целью обеспечения требуемой радиационной стойкости РЭСВ предприятиями отечественной промышленности была создана необходимая номенклатура ЭКБ, отвечающая этим требованиям и вошедшая в специальный «Перечень ЭКБ» с повышенной радиационной стойкостью. Координирующую роль при решении вопросов по данной проблеме осуществляло 16-е Управление Министерства обороны, а военно-научное сопровождение указанных разработок – 22 ЦНИИ МО.

В составе каждого из девяти оборонных министерств существовали научно-технические управления и при них головные отделы, координирующие все вопросы по ЭКБ через службы качества подведомственных предприятий.

ЦКБ «Дейтон» по заданиям МО участвует в работах по контролю правильности применения изделий микроэлектроники в важнейших видах вооружения, в

том числе электронного оборудования стратегических ракет, средств ПВО и др., в работах по военно-технической экспертизе.

При ЦКБ «Дейтон» по специальному решению в свое время были созданы региональные лаборатории анализа отказов (РЛАО), размещаемые на крупных предприятиях, создающих аппаратуру, и осуществляющие независимую экспертизу отказов. РЛАО создавались в крупных регионах (Центр, Урал, Сибирь, Украина и т.д.). Материалы по отказам, полученные в РЛАО, систематизировались и направлялись в Управление качеством МЭП.

В Министерстве общего машиностроения (МОМ) на уровне заместителя министра работала Межведомственная комиссия по качеству, в состав которой входили заместители министров оборонных министерств.

Исследования в области качества и надежности ЭКБ проводились также в ряде отраслевых НИИ и профильных вузах.

Решением ВПК №311 от 18 декабря 1972 г. в технологический процесс изготовления ИС категории «ОС» впервые были введены 100%-е отбраковочные испытания, в процессе которых ИС, имеющие скрытые дефекты, доводились до отказа.

Таким образом, в стране была создана мощная радиоэлектронная промышленность способная вести глубокие научные исследования и выпускать электронные средства высокого технического уровня, соответствующие требованиям обеспечения обороноспособности страны.

Распад СССР и, по существу, развал экономики страны привели в начале 1990-х годов к значительным потерям в электронной отрасли, особенно в военной электронике. Электронная отрасль, державшаяся на почти 100% оборонном заказе, в течение короткого времени практически полностью лишилась рынка сбыта. Объем закупок ЭКБ по линии Министерства обороны снизился более чем в 10 раз. Положение усугублялось также тем, что в военно-промышленном комплексе России в связи с изменением ее территориально-государственного устройства сложилась ситуация, когда изготовители ЭКБ для многих боевых комплексов остались за границами страны. Возникли трудности с обеспечением ЭКБ не только ограниченного числа новых разработок, но и ремонта находящихся в эксплуатации РЭСВ.

Военная электроника начала стремительно терять свои позиции. Если в 80–90-х гг. прошлого столетия технологическое отставание в микроэлектронике составляло одно поколение (в среднем – пять лет), то за первую половину 1990-х годов мы отстали на несколько поколений (до 15 лет) [40].

Критическая ситуация в области электроники сформировалась еще во времена СССР. Причин много, но важнейшие из них следующие [28]:

- неоправданное копирование зарубежных образцов ЭКБ в течение более двадцати лет [30], что предопределило привычку «плестись в хвосте», но этому процессу наступил естественный конец; высокоразрядная электроника не поддавалась копированию, а навыки к новым разработкам оказались «атрофированными»;

- предприятия МЭП начали «сворачивать» менее выгодное производство ЭКБ и на этих мощностях расширять выпуск бытовых изделий электронной техники (видеомагнитофонов и др.);

- недостаточное внимание к современным технологиям и технологическому оборудованию, а также производству чистых материалов;

- отсутствие жесткой заинтересованности предприятий-изготовителей ЭКБ в увеличении выхода годных изделий.

Если до начала 1990-х годов РЭСВ в нашей стране почти на 100% состояли из ЭКБ отечественного производства, то с распадом СССР произошло следующее [48]:

- электронная «начинка» сразу на 50% стала иностранной, так как половина предприятий-изготовителей ЭКБ оказалась за пределами РФ, причем значительная их часть была перепрофилирована;

- «умер» механизм государственного планирования и снабжения; разработчики РЭСВ были вынуждены самостоятельно выйти на рынок для поиска нужной ЭКБ; на этом рынке найти удавалось не все, что требовалось, за 15-летний период существования новой России наша электронная промышленность «усохла»;

- «карман» Минобороны для новых разработок и закупок ВВТ более 10 лет был почти пустым.

В сложившейся ситуации одни предприятия оборонно-промышленного комплекса (ОПК) были вынуждены сами осваивать разработку (а иногда и производство) нужных позиций ИС (например, на некоторых предприятиях бывших Министерств среднего и общего машиностроения), либо – использовать ИС зарубежных производителей. В результате на российский рынок хлынул поток импортной ЭКБ, как правило, категорий Commercial и Industrial, для которых было характерно:

- наличие сведений только об электрических параметрах и отсутствие информации о надежности функционирования в различных условиях ее применения;

- быстрое обновление моделей, что затрудняло применение такой ЭКБ в сложных системах, разрабатываемых и эксплуатируемых (с периодическим ремонтом) в течение длительного времени;

- осуществление поставок предприятиями-посредниками, зачастую не имеющими должной репутации.

ЭКБ закупалась где угодно, включая Митинский и другие подобные рынки. Повалил брак, контрафакт, изделия неизвестного происхождения. Войска «взвыли», при этом выставить рекламацию зачастую оказывалось некому.

В 1996 г. Министерство обороны РФ поняло, что регулировать поток комплектующих иностранного производства и установить контроль их качества жизненно необходимо. Появилось решение «Об организации контроля импортных элементов электронной вычислительной техники, применяемых в изделиях специального назначения».

Его суть была такова:

- все предполагаемые для применения в ВВТ комплектующие иностранного производства (ИП) должны проходить входной контроль в специально назначенном для этой цели военном представительстве (ВП);

- прошедшие входной контроль комплектующие ИП подлежали паспортизации и заверению печатью данного ВП, что приравнивалось к проверке изделий на соответствие ТУ (которых на иностранные изделия, конечно же, не было).

Пока поток комплектующих иностранного производства был незначительным, данный механизм работал. Именно в этот период и появился странный термин «иностранное изделие с приемкой «5».

В 1997 г. Министерство обороны решило, что возможность приобретать комплектующие иностранного производства оборонными предприятиями по принципу «где угодно» – неправильный подход, и ввело в оборот новый термин – «второй поставщик». Этот термин был закреплен в документе РД В 319-010-97 «Требования ко второму поставщику». В соответствии с этим документом:

- предприятиям ОПК было запрещено покупать электрорадиоизделия (ЭРИ) ИП «где угодно». Покупать разрешалось только у вторых поставщиков;

- вторым поставщиком могли стать только те юридические лица, которые отвечали регламентированным в РД В 319-010-97 требованиям (к персоналу, складскому хозяйству и пр.) и, в свою очередь, имели право покупать ЭРИ ИП только у изготовителя или у других вторых поставщиков;

- проверка кандидатов во вторые поставщики на соответствие РД В 319-010-97 возлагалась на 22 ЦНИИИ МО, который выдавал кандидату закрепляющий его статус документ;

- подтверждение качества закупаемых ЭРИ ИП предписано проводить (вместо ВП) путем сертификационных испытаний в аттестованных испытательных лабораториях;

- для контроля деятельности второго поставщика (именно деятельности, а не качества поставляемых изделий!) закреплялось конкретное ВП.

В этом же 1997 г. Минобороны ввело в действие Временное положение о порядке применения изделий ИП в ВВТ. Оно предписывало: изделия ИП применять можно, но только в опытных образцах ВВТ. Предполагалось, что к началу их массового серийного производства Россия разбогатеет, разработает и будет производить аналоги иностранных изделий дешевле и лучше по качеству. Но этого не произошло.

В 2000 г. для многих предприятий ОПК сложилась кризисная ситуация: с одной стороны, российских аналогов комплектующих не появилось, с другой стороны, иностранные изделия формально были запрещены. Оставалось одно из двух: или не производить российскую военную технику вообще, или все же разрешить ее производство с использованием изделий ИП. Было принято естественное и правильное решение – разрешить, и в 2001 г. министр обороны РФ издал приказ¹³, вводящий в действие специальное Положение [19].

¹³ Широко известный как «Приказ №41».

Заложенный в данный документ управленческий алгоритм [44] в общем виде приведён на рис. 4.8. Суть этого Положения в следующем:

Данный приказ действует и сегодня [48].

Рис. 4.8. Алгоритм управления применением ЭКБ в ВВТ:
ВС РФ – Вооруженные силы Российской Федерации;
ТЭО – технико-экономическое обоснование

Главной особенностью создания современных видов вооружения является возрастающая роль стандартизации в обеспечении качества ВВТ. Кроме того, в основные цели стандартизации военной продукции входят также уменьшение за-

трат на создание, применение и утилизацию ВВТ; сокращение сроков создания и освоения ВВТ; обеспечение совместимости и взаимозаменяемости составных частей ВВТ, комплектующих изделий и материалов.

Поскольку современный подход к созданию и эксплуатации ВВТ требует стандартизации многих технологических процессов и конструкторских решений, ее инструментальной базой становится сертификация. Сертификация определяет эффективность СУК на предприятиях и, как следствие, конечный уровень качества продукции, а связанные с ней задачи отражают широкий спектр научных, технических и организационно-экономических работ. Сертификация продукции проводится на соответствие требованиям, установленным в ТУ, государственных стандартах (в том числе военных) и других нормативных документах.

Возрастание требований к качеству и надежности РЭСВ в современных экономических условиях вызывает необходимость усиления мер по сертификации радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), ЭРИ и материалов военного назначения на соответствие требованиям государственных военных стандартов и проведения единой политики Минобороны по управлению качеством. Для этих целей решениями Минобороны и Госстандарта РФ при 22 ЦНИИ МО создана система сертификации «Военэлектронсерт», в сферу действия которой входит сертификация РЭА, ЭРИ и материалов, а также систем обеспечения качества.

В рамках системы «Военэлектронсерт» проводится сертификация ЭРИ на базе нового поколения основополагающих стандартов «Климат-7» (табл. 4.2), разработанных как для повышения эффективности стандартизации ЭРИ, усиления роли Генерального заказчика в формировании военно-технической политики по развитию радиоэлектронных средств ВВТ, так и гармонизации стандартов на ЭРИ с международными нормативными документами.

Комплекс государственных военных стандартов «Климат-7» содержит следующие принципиально новые положения:

- реализация требований к системе обеспечения качества и надежности изделий, ориентированной на более ранние стадии их создания (проектирование, разработка, конструирование, отработка технологии);
- применение гибкой системы контроля качества готовой продукции, основанной на результатах приемочного контроля и информации о состоянии процесса производства изделий;
- установление для всех групп изделий единых принципов статистического контроля и статистического регулирования технологического процесса;
- введение статистических показателей надежности ЭРИ и методов их подтверждения, согласованных с требованиями надежности РЭА;
- определение процедуры сертификации систем качества и производства;
- введение взаимоотношений поставщик – потребитель, основанных на экономических стимулах обеспечения качества продукции и ориентированных на элементы рыночных взаимоотношений.

Таблица 4.2

Структура комплекса государственных военных стандартов «Климат-7»

Обозначение	Наименование
Общие положения	
ГОСТ РВ 20.39.411-97	Комплексная система общих технических требований и контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения (ИЭТКЭиЭВН). Общие положения
Требования	
ГОСТ РВ 20.39.412-97	Комплексная система общих технических требований (КСОТТ). ИЭТКЭиЭВН. Общие технические требования
ГОСТ РВ 20.39.413-97	КСОТТ. ИЭТКЭиЭВН. Требования к надежности
ГОСТ РВ 20.39.414.1-97	КСОТТ. ИЭТКЭиЭВН Классификация по условиям применения и требованиям стойкости к внешним воздействующим факторам
ГОСТ РВ 20.39.414.2-98	--
ГОСТ РВ 20.39.415-97	КСОТТ. ИЭТКЭиЭВН. Требования к построению и содержанию технических условий
ГОСТ РВ 20.57.412-97	Комплексная система контроля качества (КСКК). ИЭТКЭиЭВН. Требования к системе качества
Методы оценки соответствия требований	
ГОСТ РВ 20.57.413-97	КСКК. ИЭТКЭиЭВН. Контроль качества готовых изделий и правила приемки
ГОСТ РВ 20.57.414-97	КСКК. ИЭТКЭиЭВН. Методы оценки соответствия требований к надежности
ГОСТ РВ 20.57.415-98	--
ГОСТ РВ 20.57.416-97	КСКК. ИЭТКЭиЭВН. Методы испытаний
Обеспечение требований	
ГОСТ РВ 20.57.411-97	КСКК. ИЭТКЭиЭВН. Организация работ по сертификации систем качества и производств
ГОСТ РВ 20.57.417-97	КСКК. ИЭТКЭиЭВН. Система взаимоотношений поставщик – потребитель (заказчик). Основные положения
ГОСТ РВ 20.57.418-98	КСКК. ИЭТКЭиЭВН. Обеспечение, контроль качества и правила приемки изделий единичного и мелкосерийного производства

Заложенные в комплексе стандартов «Климат-7» требования к системе качества и порядок их проверки (ГОСТ РВ 20.57.412-97 и ГОСТ РВ 20.57.411-97) гармонизированы с основными положениями международных стандартов ISO 9000 и адаптированы к реальным условиям деятельности российских предприятий. Отдельные положения стандартов развиты с учетом накопленного отечественного опыта в области обеспечения качества РЭА военного назначения. Установленные в системе сертификации «Военэлектронсерт» правила и схемы сертификации ЭРИ военного назначения вписываются в систему обеспечения качества действующей основополагающей нормативной документации [45].

Во вновь созданной организации «Военэлектронсерт» был разработан ряд документов, действующих и в настоящее время, среди них:

- РД В 319.010-02. Требования ко второму поставщику (новая версия) [20];

- РД В 319.015-2006. Требования к системе менеджмента качества для организаций, осуществляющих исследования, разработку, производство, поставку ЭКБ в интересах обороноспособности и безопасности РФ [15].

Постановлением Правительства РФ от 26 ноября 2007 г. № 809 утверждена Федеральная целевая программа «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008-2015 гг.

Основная цель программы – развитие научно-технического производственного базиса для разработки и производства конкурентоспособной наукоемкой электронной и радиоэлектронной продукции для решения приоритетных задач социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности Российской Федерации. К концу первого этапа программы (2011 г.) должно быть сокращено, а концу второго этапа (2015 г.) – ликвидировано отставание отечественной ЭКБ от мирового уровня [60].

В декабре 2012 г. Премьер-министр РФ Дмитрий Медведев утвердил государственную программу «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 гг.». В данную Программу интегрированы: ФЦП «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008–2015 годы и подпрограмма «Создание электронной компонентной базы для систем, комплексов и образцов вооружения, военной и специальной техники на 2011–2020 годы», ФЦП «Развитие оборонно-промышленного комплекса РФ на 2011–2020 годы». Целью Программы является повышение конкурентоспособности радиоэлектронной промышленности посредством создания инфраструктуры для развития приоритетных направлений, интеграции в международный рынок и реализации инновационного потенциала [56].

Вышеупомянутые документы и составляют основную нормативно-правовую базу в данной области. Она формировалась под лозунгом стремления российского государства к технологической независимости и информационной безопасности.

В настоящее время в России с ЭКБ для изделий специального назначения сложилась следующая ситуация.

1. В спецтехнике в основном используются электронные компоненты разработки 1980-х и даже 1970-х гг.; только 3% ЭКБ, применяемой в ВВТ, разработано после 1990 г. [40].

2. Качество и надежность современной отечественной ЭКБ по общему признанию не только не соответствует мировому уровню, но и по многим позициям уступает «доперестроечным» образцам. Причин этому несколько, среди них следующие.

2.1. Снижение культуры производства и качества продукции на предприятиях-изготовителях ЭКБ:

- на многих предприятиях нет современного технологического оборудования, что не позволяет совершенствовать производственные процессы; контрольно-измерительная техника либо также устарела, либо в должном объеме отсутствует; при низких объемах заказов это побуждает производителей к сворачиванию испытательных и контрольно-измерительных служб, в результате снижается качество продукции; многими потребителями ЭКБ отмечается существенно возросшая засоренность поставляемых партий элементами, потенциально ненадежными или просто не соответствующими стандартным требованиям документов на поставку (ОТУ, ТУ);

- не хватает квалифицированных кадров – у многих предприятий нет средств ни на подготовку специалистов, ни на достойную зарплату для них;

- экспертные проверки выявляют немало нарушений технологической дисциплины практически на каждом предприятии; внутренние проверки, как правило, выполняются только для отчетности, а не для обеспечения требуемого качества;

- если раньше ИС категории «ОС» на многих предприятиях изготавливались на отдельных технологических линиях, то теперь изготовление ИС всех категорий («1», «5» и «9»), как правило, осуществляют на одном и том же производственном участке; разница – в комплексе выходных испытаний, т.е. проверке на соответствие различному набору технических требований; и если изделия с приемкой «1» – не качественные, вряд ли стоит ожидать, что их «собратья» с приемкой «5» и «9» будут принципиально от них отличаться [43];

- качество и доступность исходных материалов оставляет желать лучшего; сегодня в России практически отсутствует производство кремния электронной чистоты (т.е. пригодного для нужд микроэлектроники).

2.2. Организационный кризис:

- упразднены многие структуры (управления, НИИ, отделы), занимающиеся вопросами качества и надежности ЭКБ как в электронной промышленности, так и в отраслях – потребителях ЭКБ (рис. 4.7);

- нарушены или ослаблены связи между поставщиками и потребителями ЭКБ;

- практически разрушена централизованная система сбора, учета и анализа отказов ЭКБ как в сфере производства, так и при эксплуатации изделий, что не позволяет планировать и осуществлять корректирующие мероприятия в технологическом процессе их изготовления [43].

2.3. Имеет место формальная сертификация. Внедрение системы качества в соответствии с ISO 9000 (или [13] – для военной техники) автоматически не обеспечивает выпуск качественной продукции; если на предприятии действительно было благополучно с качеством, то сертификация лишь подтвердит это; известны случаи, когда сертификат вручается лишь на основании «правильно» оформленных бумаг.

3. Недостаточная радиационная стойкость ЭКБ. Данная проблема наиболее остро стоит для ракетно-космической техники.

4. Отсутствие отечественной ЭКБ, необходимой для ремонта и технического обслуживания систем ВВТ, разработанных в 1970-80-х гг., но по-прежнему находящихся в эксплуатации; предприятия обычно прекращают выпуск такой ЭКБ в связи с малыми объемами заказов и низкой рентабельностью.

5. Среди зарубежных изготовителей ИС для спецтехники в настоящее время «Перечнем ЭРИ...» [58] допущена продукция только следующих предприятий: ОАО «ИНТЕГРАЛ» (г. Минск¹⁴), АО «АЛЬФА» (г. Рига), ДП «КВАЗАР-ИС» (г. Киев), ОАО «FOTON» (г. Ташкент).

6. В новых образцах российской ВВТ используется от 40 до 95% ЭКБ производства стран дальнего зарубежья. При потребности в более чем 15 тыс. наименований ЭКБ, производить все это в России нет смысла¹⁵ [44].

7. Распространение контрафактной ЭКБ, в основном производства дальнего зарубежья. Контрафактная ЭКБ стала причиной неудачных запусков спутников, ракетоносителей, сбоев в работе КА «ГЛОНАСС» и др.¹⁶ [49]. Если отечественная ЭКБ для специзделий, как раньше, так и сейчас, приобретается, как правило, непосредственно у изготовителя (даже в случае малых партий), то известные зарубежные фирмы-производители ЭКБ реализуют свою продукцию крупными партиями через официальных дистрибьюторов, у которых в свою очередь приобретается ЭКБ прочими предприятиями-посредниками.

В любом случае контрафакта более дешевая ЭКБ выдается за более дорогую и качественную. Причем она может выполнять те же функции, но в более узком диапазоне внешних воздействий, с меньшим быстродействием, обладать меньшим сроком службы, а иногда и просто быть муляжом.

¹⁴ Республика Беларусь входит в состав Союзного государства.

¹⁵ В тех же США военная техника содержит от 40 до 60% самого массового продукта микроэлектроники – ИС памяти, изготовленных в странах Юго-Восточной Азии [44].

¹⁶ Жертвой китайского контрафакта стала также самая передовая в мире армия – армия США. Установлено, что контрафактная ЭКБ применялась в компьютерах, управлявших ракетами, в бортовой электронике самолетов и подводных лодок [49].

Основные приемы, которые используют изготовители и поставщики контрафактной ЭКБ [39, 53], следующие:

- перемаркировка ЭКБ с изменением кода предприятия-изготовителя, даты изготовления и их реализация в качестве элементов, востребованных рынком;
- фальсификация протоколов испытаний, сертификатов соответствия и т.д.;
- поставка неучтенной ЭКБ, изготовленной в нерабочее время и не прошедшей необходимый комплекс проверок и испытаний;
- установка в корпус кристаллов, не отвечающих установленным требованиям (например, с меньшим быстродействием или имеющих дефекты), и т.д.

Эксперты Комитета по вооруженным силам американского Конгресса (ASC), проводившие расследование в течение двух лет, установили, что «эпицентром» распространения поддельных электронных деталей является китайский город Шэньчжэнь. В большинстве случаев речь идет не о деталях непосредственно китайского производства. Как правило, китайские компании скупают в США и по всему миру всевозможные отходы электроники, которые доставляются в Гонконг. Там специализированные предприятия выплавляют электронные детали из устаревших плат, «отмывают их в реке и высушивают на тротуарах», после чего чипы и транзисторы попадают в руки китайских фирм в Шэньчжэне, занимающихся перепродажей электронных компонентов. По мере продвижения деталей по цепочке с них удаляются серийная маркировка и отметки о дате производства, после чего на чипы наносится новая маркировка, нередко даже не соответствующая самой детали. На выходе получается микросхема, внешне неотличимая от только что произведенной.

Все осложняется тем, отмечается в докладе, что жизненный цикл электронных компонентов в несколько раз меньше, чем военной техники. Например, те или иные микропроцессоры могут выпускаться на протяжении двух-трех лет, после чего они снимаются с производства, а им на смену приходят новые. При этом военные системы призваны служить десять-двадцать лет, и их электронные компоненты за это время существенным образом не меняются. Для поддержания работоспособности этих устройств американские компании, занимающиеся техническим обслуживанием, вынуждены обращаться к сторонним фирмам, специализирующимся на изготовлении и/или поставках электронных компонентов уже снятых с производства. Нередко бывает, что такие фирмы на самом деле не обладают собственными производственными мощностями, а скупают необходимые детали на открытом рынке [49].

Другие страны, занимающиеся производством и сбытом контрафактной ЭКБ, – это Филиппины, Вьетнам, Россия, Украина, Индия, Бразилия, Пакистан и Парагвай.

8. В условиях сокращения заказов на системы ВВТ уменьшились объемы проводимых испытаний (как ЭКБ, так и специзделий), что привело к снижению достоверной информации о качестве и надежности ЭКБ. В результате возросла вероятность установки в специзделия элементной базы со сниженной надежностью.

9. Не смотря на декларируемый 100%-й выходной контроль на отечественных предприятиях-изготовителях ЭКБ, брак, обнаруживаемый при входном контроле у потребителя ЭКБ разработчика ЭВМ СН, по некоторым позициям может достигать 7%.

10. Появились предприятия (не только, входящие в состав ОПК), разрабатывающие современную ЭКБ (сверхбольшие интегральные схемы, (СБИС), включая «системы на кристалле») с последующим изготовлением на микроэлектронных фабриках (как зарубежных, так и российских [50]). Поскольку стоимость такой фабрики превышает 2 млрд. долларов, то в качестве изготовителей на первых порах предполагалось использовать кремниевые фабрики Юго-Восточной Азии с их низкой заработной платы и с существующим на них уровнем качества.

Есть предложения использовать «Системы на кристалле» не только в новых разработках, но и для модернизации ВВСТ (разработанных в 1970-80-х гг.), находящихся в эксплуатации [55].

11. Объединение производства ЭКБ и специзделий. Принцип «все под одной крышей» предполагает изготовление ЭКБ и специзделий по единым требованиям к качеству. Подобный подход на оборонных предприятиях используется, когда в качестве ЭКБ рассматриваются гибридные интегральные схемы и микросборки частного применения. Теперь настал черед и полупроводниковых ИС.

Первые шаги в этом направлении сделаны в Курчатовской научном центре и в НИИИС им. Ю.Е.Седакова (Росатом).

12. Получает развитие технология двойного назначения (применения). С завершением периода «холодной войны» резко сократилось государственное финансирование, как предприятий-разработчиков, так и предприятий-изготовителей специальной ЭКБ. Большинство из них были преобразованы в акционерные общества, в которых значительно ослаблены государственное влияние и контроль за деятельностью. У таких предприятий отсутствует заинтересованность вкладывать собственные средства в разработку и развитие производства специальной ЭКБ, соблюдая такие условия, как [59]:

- широкая номенклатура ЭКБ;
- повышенные требования по эксплуатации (температура, влажность, радиационная стойкость, повышенная надежность, устойчивость к механическим воздействиям и так далее);
- относительно небольшие объемы выпуска заказываемой продукции;
- требуемый длительный жизненный цикл поставляемых изделий, включая необходимость воспроизводства в течение 10 – 15 лет.

Бурное развитие информационных технологий и телекоммуникаций в коммерческом секторе привело к тому, что многие изготовители ЭКБ теперь ориентированы на коммерческий сектор, дающий прибыль, которая вкладывается в развитие новых разработок и совершенствование производства.

Военную и коммерческую продукцию можно производить на одной и той же линии, что снижает цену военной продукции [52].

Необходимость технологии двойного назначения ЭКБ вынуждены признать и в руководстве страны: «В последнее время ЭКБ в России находилась не в лучшем состоянии. Поддерживалось в основном производство компонентов, необходимых для стратегических вооружений. Однако, жизнеспособна только ЭКБ двойного назначения. По отдельности это экономически не выгодно и ущербно» (С. Иванов) [61].

Потребность в ЭКБ двойного применения нашла также свое отражение в новой редакции научно-технической программы Союзного государства «Разработка и освоение серий интегральных схем и полупроводниковых приборов для аппаратуры специального назначения и двойного применения» [59]. Эта программа была создана с целью развития и конкретизации ФЦП [60] и предусматривает разработку конкретных типономиналов ЭКБ (к 2014 г. – не менее 90 типономиналов). Предполагается, что выполнение программы позволит получить следующие основные результаты:

- оптимизировать номенклатуру разрабатываемых микросхем и полупроводниковых приборов и исключить дублирование работ;
- будут выработаны и согласованы с разработчиками радиоэлектронных систем и средств ВВСТ общие технические требования к разрабатываемой ЭКБ, в том числе в части стойкости к внешним воздействующим специальным факторам;
- в полной мере будет задействован научно-технический и производственный потенциал белорусского ОАО «ИНТЕГРАЛ» для разработки и освоения широкой номенклатуры специальной ЭКБ в интересах российских потребителей;
- будет предусмотрена возможность изготовления опытных образцов и освоения производства отдельных типов разрабатываемой ЭКБ на действующих и создаваемых в России производственных линиях высокого технологического уровня;
- будет оказана необходимая государственная финансовая поддержка предприятиям электронной промышленности Беларуси и России в разработке конкретных типов специальной ЭКБ, что полностью соответствует приоритетам государственной политики по укреплению обороноспособности и информационной безопасности государств – участников Союзного государства.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

БИС – большая интегральная схема

ВП – военное представительство

ВПК – военно-промышленная комиссия

ВВТ – вооружение и военная техника

ВТ – военная техника

ДНК – диагностический неразрушающий контроль

ЗИП – запасные инструменты и принадлежности

ИП – иностранное производство

ИС – интегральная схема

ИЭТКЭиЭВН – изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения

КА – космический аппарат

КД – конструкторская документация

КНС – кремний на сапфире

КСКК – комплексная система контроля качества

КСОТТ – комплексная система общих технических требований

МБР – межконтинентальная баллистическая ракета

МО – Министерство обороны

МОМ – Министерство общего машиностроения

МЭП – Министерство электронной промышленности

НПО – научно-производственное объединение

НТД – нормативно-техническая документация

ОВП – общего военного применения

ОКР – опытно-конструкторская работа

ОПК – оборонно-промышленный комплекс

ОС – особая серия

ОСМ – особая серия малая

ОТК – отдел технического контроля

ОТУ – общие технические условия

ОХ – оперативная характеристика

ПКК – производственный контроль качества

ПОК – программа обеспечения качества

РЛАО – региональная лаборатория анализа отказов

РЭА – радиоэлектронная аппаратура

РЭСВ – радиоэлектронное средство вооружения

СБИС – сверхбольшая интегральная схема

СКК – система контроля качества

СОТУ – специальное ОТУ

СУК – система управление качеством

ТД – технологическая документация

ТЗ – техническое задание

ТП – технологический процесс

ТС – тестовая структура

ТТ – термотренировка

ТТЗ – тактико-техническое задание

ТТЛ – транзисторно-транзисторная логика

ТТЛШ – транзисторно-транзисторная логика с диодами Шоттки

ТУ – технические условия

ЭВМ СН – ЭВМ специального назначения

ЭКБ – электронная компонентная база

ЭТ – электротермотренировка

ЭТТ – электротермотренировка

ЭРИ – электрорадиоизделие

EDH – Equivalent Device Hours – приведенное полное время испытаний

FIT – Failures In Time – количество отказов на 10^9 ч

MTTF – Mean Time to Failure – средняя наработка до отказа

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 15467-79 (СТ СЭВ 3519-81). Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. Введ. 1979-07-01. Переизд. 01.05.2009. М.: Изд-во стандартов, 2009. 23 с.
2. ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. Введ. 1982-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1981. 38 с.
3. ГОСТ 18725-83 (СТ СЭВ 299-76). Микросхемы интегральные. Общие технические условия. Введ. 1985.01.01. Переизд. 1991. М.: Изд-во стандартов, 1991. 7 с.
4. ГОСТ 24297-87. Входной контроль продукции. Основные положения. Введ. 1988-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2008. 7 с.
5. ГОСТ 4.465-87. Система показателей качества продукции. Микросхемы интегральные. Номенклатура показателей. Введ. 1988-01-01. Переизд. 20-07-2010. М.: Изд-во стандартов, 2010. 39 с.
6. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Введ. 1990-07-01. Переизд. 2002. М.: Изд-во стандартов, 2002. 24 с.
7. ГОСТ В 20.57.402-81 (СТ В СЭВ 0263-87) Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Требования к обеспечению качества. Введ. 01-01-1982. М.: Изд.-во стандартов. 16 с.
8. ГОСТ В 20.57.403-81 (СТ В СЭВ 0264-87) Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Контроль качества и правила приемки. Введ. 01-01-1982. М.: Изд.-во стандартов. 35 с.
9. ГОСТ В 20.57.404-81 (СТ В СЭВ 0266-87) Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Методы оценки соответствия требованиям по надежности. Введ. 01.01.1982. М.: Изд.-во стандартов. 57 с.
10. ГОСТ Р 50779.11-2000 (ИСО 3534-2-93). Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения. Введ. 29-12-2000. Переизд. Октябрь 2003. М.: Изд-во стандартов, 2003. 43 с.
11. ГОСТ Р 8.731-2010. Государственная система обеспечения единства измерений. Система допускового контроля. Основные положения. Введ. 2012-01-01. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2011. 12 с.
12. ГОСТ Р ИСО 9004-2010. Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества. Введ. 2010-11-23. М.: ФГУП «Стандартинформ». 2011. 41 с.
13. ГОСТ РВ 15.002-2003. Система разработки и постановки на производство. Военная техника. Системы менеджмента качества. Общие требования. Государственный комитет РФ по стандартизации и метрологии. Введ. 2003-01-01. М.: Изд-во стандартов». 2004. 46 с

14. ГОСТ РВ 20.39.304-98. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к внешним факторам. Введ. 1998-07-09. М.: Изд-во стандартов, 1999. 55 с.
15. ГОСТ РВ 20.39.413-97. Комплексная система общих технических требований. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Требования к надежности. Введ. 1998-07-01. М.: Гостандарт России. 7 с.
16. ОСТ В 11.073.012 -87. Микросхемы интегральные. Специальные общие технические условия. 104 с.
17. ОСТ В 11 0398-2000. Микросхемы интегральные. Общие технические условия. М.: ГУП ЦКБ «Дейтон», 2000. 85 с.
18. ПО.070.052. Ред. 1990 г. Положение о порядке изготовления и поставки изделий электронной техники с индексом «ОС» при малой годовой потребности в этих изделиях (изделий с индексом «ОСМ»). М.: ВНИИ «Электронстандарт». 1990. 8 с.
19. РД В 319.04.35.00-01. Положение о порядке применения электронных модулей, комплектующих изделий, электрорадиоизделий и конструктивных материалов иностранного производства в системах, комплексах и образцах ВВТ и их составных частях. М.: МО РФ, 2001. 62 с.
20. РД В 319.010-02. Система добровольной сертификации радиоэлектронной аппаратуры, электрорадиоизделий и материалов военного назначения «Воен-электронсерт». Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Требования ко второму поставщику. М.: 22 ЦНИИ МО, 2002. 84 с.
21. РД В 319.015-2006. Система добровольной сертификации радиоэлектронной аппаратуры, электрорадиоизделий и материалов военного назначения «Воен-электронсерт». Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Требования к системе менеджмента качества. М.: 22 ЦНИИ МО. 2006. 68 с.
22. Богданович М. И. Цифровые интегральные микросхемы: справочник / М. И. Богданович, И. Н. Грель, В.А. Прохоренко и др. Мн.: Беларусь, 1991. 493 с.
23. Большев Л. Н. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. М.: Наука. 1983. 416 с.
24. Бондаренко И. Б. Управление качеством электронных средств / И. Б. Бондаренко, Н. Ю. Иванова, В. В. Сухостат. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. 211 с.
25. Боровиков С. М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности / С. М. Боровиков. Мн.: Дизайн ПРО, 1998. 336 с.
26. Глудкин О. П. Управление качеством электронных средств/ О. П. Глудкин. М.: Высшая школа, 1994. 410 с.

27. Горлов М. И. Геронтология кремниевых интегральных схем / М. И. Горлов, В. А. Емельянов, А. В. Строгонов; отв. ред. Б. И. Казуров. М.: Наука, 2004. 240 с.
28. Динамика радиоэлектроники / Под общ. ред. Ю. И. Борисова. М.: Техносфера, 2007. 400 с.
29. Ефимов И. Е. Основы микроэлектроники: учебник / И. Е. Ефимов, И.Я.Козырь. 3-е изд., стер. СПб.: Издательство «Лань», 2008. 384 с.
30. Иевлев В. И. Электронная компонентная база ЭВМ специального назначения / В. И. Иевлев, Г. А. Филиппов. Екатеринбург. УрФУ. 2012. 162 с.
31. Козырь И. Я. Микроэлектроника: учебное пособие для вузов. В 9 кн. Кн. 5. Качество и надежность интегральных микросхем / И. Я. Козырь; под ред. Л. А. Коледова. М.: Высшая школа, 1990. 144 с.
33. Краснов М. И. Алгоритмы и устройства контроля сверхбольших интегральных схем для радиоаппаратуры / Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. МЭИ (ТУ). М.: 2010. 20 с.
33. Мальцев И. П. Цифровые интегральные микросхемы: справочник / П. П. Мальцев, Н. С. Долидзе, М. И. Критенко и др. М.: Радио и связь, 1994. 224 с.
34. Пролейко В. М. Системы управления качеством изделий микроэлектроники (теория и применение) / В. М. Пролейко, В. А. Абрамов, В. Н. Брюнин. М.: Сов. Радио. 1976. 224 с.
35. Прытков С. Ф. Надежность ЭРИ: справочник / С. Ф. Прытков, В. М. Горбачева, А. А. Борисов и др. М.: 22 ЦНИИ МО РФ, 2006. 674 с.
36. Семенов Ю. Г. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. В 10 кн. Кн. 10. Контроль качества / Ю. Г. Семенов. М.: Высшая школа, 1990. 111 с.
37. Чандракасан А. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования / Ананта Чандракасан, Боривож Николич, Жан Рабаи. М.: Вильямс, 2007. 912 с.
38. Чернышев А. А. Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем / А. А. Чернышев. М.: Радио и связь. 1988. 256 с.
39. Абрамович И. Л. Входной контроль – инструмент защиты от контрафактной элементной базы / И. Л. Абрамович, С. Ф. Жулинский, Б. М. Ковалев // Методы менеджмента качества. 2013. №3. С. 40-48.
40. Борисов Ю. Электронная промышленность России: стратегия развития / Ю. Борисов // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2006. № 8. С. 4-10.
41. Горлов М. Отбраковочные технологические испытания как средство повышения надежности партии ИС / М. Горлов, А. Строгонов, А. Арсентьев, А. Емельянов, В. Плебанович // Технологии в электронной промышленности. 2006. №1. С. 70-75.

42. Горлов М. Технологические тренировки интегральных схем /М. Горлов, А. Строгонов, Д. Шацких // Технологии в электронной промышленности. 2009. №4. С. 196-199.
43. Качество продукции радиоэлектронного комплекса России // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2004. №7. С.12-20.
44. Кобзарь Д. Процедурные вопросы применения электронных средств в военной технике: нормативная база и правда жизни / Д. Кобзарь // Современные технологии автоматизации. 2007. №3. С. 86-97.
45. Критенко М. Обеспечение качества военной продукции. Новое поколение нормативных документов / М. Критенко // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2000. №4. С. 50-53.
46. Лидский Э. Современный подход к оценке надежности изделий электронной техники / Э. Лидский, О. Мироненко, А. Гусев // Компоненты и технология. 2000. № 3. С. 58-63.
47. Минченко В. А. Принципы построения и структурные схемы зондовых автоматических систем контроля параметров изделий микро- и нанoeлектроники на пластине / В. А. Минченко, Г. Ф. Ковальчук С. Б. Школык // Приборы и методы измерений (Беларусь). 2012. №2 (5). С. 67-75.
48. Писаренко О. Особенности национального отношения к «ненациональным» комплектующим /О. Писаренко, В. Бабарыкин // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2009. №5. С.8-15.
49. Савинов Ю. А. Обратная сторона международной кооперации / Ю. А. Савинов, К. П. Федоренко// Российский внешнеэкономический вестник. 2012. №7. С.34-59.
50. Стешенко В. Перспективы развития электронных компонентов для бортовой аппаратуры космических систем / В. Стешенко, В. Гаршин // Электронные компоненты. 2012. №3. с.6-12.
51. Строгонов А. Долговечность интегральных схем и производственные методы ее прогнозирования / А. Строгонов // Chip News. 2002. № 6. С. 44-49.
52. Строгонова Е. Качество электронных и радиоэлектронных компонентов для современной промышленности / Е. Строгонова, В. Кувшинов, Д. Кочемасов // Компоненты и технологии. 2012. №1. С. 40-43.
53. Урличич Ю. Контрафактная продукция на рынке электронных компонентов / Ю. Урличич, Н. Данилин // Современная электроника. 2006. №5. С. 6-8.
54. Шпер В. Реферативный аналитический обзор / В. Шпер // Надежность: вопросы теории и практики. 2006. №3. С. 122-148.
55. Колганов С. К., Лазаревич Э. Г. Ситуация в области элементной базы российского оружия выходит из-под контроля и становится угрозой национальной безопасности страны. Режим доступа: <http://army.lv.ru>.
56. Д. Медведев утвердил долгосрочную программу развития радиоэлектронной промышленности России. Режим доступа: <http://www.Interfax.ru>.

57. НПП «Сапфир». Режим доступа: <http://www.sapfir.ru>.
58. Перечень ЭРИ, разрешенных к применению при разработке (модернизации), производстве аппаратуры, приборов, устройств и оборудования военного назначения. МОП 44 001.1-21, ред. 2012 г. ФГУП «22 ЦНИИИ» МО РФ. Режим доступа: <http://www.torrentino.ru>.
59. Постановление Совета Министров Союзного государства от 26 марта 2012 г. № 4. Режим доступа: <http://content.nlb.by>.
60. Программа «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008 – 2015 годы». Режим доступа: <http://www.programs-gov.ru>.
61. «РИА Новости» от 10 декабря 2012 г. Режим доступа: <http://armstrade.org>.
62. Хетагуров Я. А. Из истории развития специализированных бортовых вычислительных машин. Режим доступа: <http://computer-museum.ru>.
63. ADI Reliability Handbook. Режим доступа: www.analog.com.
64. MIL-STD-883H. Test method standard microcircuits. 26 February 2010. Режим доступа: <http://snebulos.mit.edu>.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Стандартные термины и определения [1, 2, 6, 8]

1. ИСПЫТАНИЯ

1.1. Общие понятия

Испытания – экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий.

Примечание. Определение включает оценивание и (или) контроль

Условия испытаний – совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях.

Нормальные условия испытаний – условия испытаний, установленные нормативно-технической документацией (НТД) на данный вид продукции.

Опытный образец – образец продукции, изготовленный по вновь разработанной рабочей документации для проверки путем испытаний соответствия его заданным техническим требованиям с целью принятия решения о возможности постановки на производство и (или) использования по назначению.

Метод испытаний – правила применения определенных принципов и средств испытаний.

Объем испытаний – характеристика испытаний, определяемая количеством объектов и видов испытаний, а также суммарной продолжительностью испытаний.

Программа испытаний – организационно-методический документ, обязательный к выполнению, устанавливающий объект и цели испытаний, виды, последовательность и объем проводимых экспериментов, порядок, условия, место и сроки проведения испытаний, обеспечение и отчетность по ним, а также ответственность за обеспечение и проведение испытаний.

Методика испытаний – организационно-методический документ, обязательный к выполнению, включающий метод испытаний, средства и условия испытаний, отбор проб, алгоритмы выполнения операций по определению одной или нескольких взаимосвязанных характеристик свойств объекта, формы представления данных и оценивания точности, достоверности результатов, требования техники безопасности и охраны окружающей среды

Средство испытаний – техническое устройство, вещество и (или) материал для проведения испытаний.

Испытательное оборудование – средство испытаний, представляющее собой техническое устройство для воспроизведения условий испытаний

Результат испытаний – оценка характеристик свойств объекта, установления соответствия объекта заданным требованиям по данным испытаний, результаты анализа качества функционирования объекта в процессе испытаний.

1.2. Виды испытаний

Исследовательские испытания – испытания, проводимые для изучения определенных характеристик свойств объекта.

Контрольные испытания – испытания, проводимые для контроля качества объекта.

Государственные испытания – испытания установленных важнейших видов продукции, проводимые головной организацией по государственным испытаниям, или приемочные испытания, проводимые государственной комиссией или испытательной организацией, которой предоставлено право их проведения.

Межведомственные испытания – испытания продукции, проводимые комиссией из представителей нескольких заинтересованных министерств и (или) ведомств, или приемочные испытания установленных видов продукции для приемки составных частей объекта, разрабатываемого совместно несколькими ведомствами.

Ведомственные испытания – испытания, проводимые комиссией из представителей заинтересованного министерства или ведомства.

Предварительные испытания – контрольные испытания опытных образцов и (или) опытных партий продукции с целью определения возможности их предъявления на приемочные испытания.

Приемочные испытания – контрольные испытания опытных образцов, опытных партий продукции или изделия единичного производства, проводимые соответственно с целью решения вопроса о целесообразности постановки этой продукции на производство и (или) использования по назначению.

Квалификационные испытания – контрольные испытания установочной серии или первой промышленной партии, проводимые с целью оценки готовности предприятия к выпуску продукции данного типа в заданном объеме.

Предъявительские испытания – контрольные испытания продукции, проводимые службой технического контроля предприятия-изготовителя перед предъявлением ее для приемки представителем заказчика, потребителя или других органов приемки.

Приемо-сдаточные испытания – контрольные испытания продукции при приемочном контроле.

Периодические испытания – контрольные испытания выпускаемой продукции, проводимые в объемах и в сроки, установленные нормативно-технической документацией, с целью контроля стабильности качества продукции и возможности продолжения ее выпуска.

Инспекционные испытания – контрольные испытания установленных видов выпускаемой продукции, проводимые в выборочном порядке с целью контроля стабильности качества продукции специально уполномоченными организациями.

Типовые испытания – контрольные испытания выпускаемой продукции, проводимые с целью оценки эффективности и целесообразности вносимых изменений в конструкцию, рецептуру или технологический процесс.

Аттестационные испытания – испытания, проводимые для оценки уровня качества продукции при ее аттестации по категориям качества.

Сертификационные испытания – контрольные испытания продукции, проводимые с целью установления соответствия характеристик ее свойств национальным и (или) международным нормативно-техническим документам.

Лабораторные испытания – испытания объекта, проводимые в лабораторных условиях.

Стендовые испытания – испытания объекта, проводимые на испытательном оборудовании.

Полигонные испытания – испытания объекта, проводимые на испытательном полигоне.

Натурные испытания – испытания объекта в условиях, соответствующих условиям его использования по прямому назначению с непосредственным оценением или контролем определяемых характеристик свойств объекта.

Эксплуатационные испытания – испытания объекта, проводимые при эксплуатации.

Нормальные испытания – испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимого объема информации о характеристиках свойств объекта в такой же интервал времени, как и в предусмотренных условиях эксплуатации.

Ускоренные испытания – испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимой информации о характеристиках свойств объекта в более короткий срок, чем при нормальных испытаниях.

Сокращенные испытания – испытания, проводимые по сокращенной программе.

Механические испытания – испытания на воздействие механических факторов.

Климатические испытания – испытания на воздействие климатических факторов.

Термические испытания – испытания на воздействие термических факторов.

Радиационные испытания – испытания на воздействие радиационных факторов.

Электромагнитные испытания – испытания на воздействие электромагнитных полей.

Электрические испытания – испытания на воздействие электрического напряжения, тока или поля.

Магнитные испытания – испытания на воздействие магнитного поля.

Химические испытания – испытания на воздействие специальных сред.

Биологические испытания – испытания на воздействие биологических факторов.

Неразрушающие испытания – испытания с применением неразрушающих методов контроля.

Разрушающие испытания – испытания с применением разрушающих методов контроля.

Испытания на прочность – испытания, проводимые для определения значений воздействующих факторов, вызывающих выход значений характеристик свойств объекта за установленные пределы или его разрушение.

Испытания на устойчивость – испытания, проводимые для контроля способности изделия выполнять свои функции и сохранять значения параметров в пределах установленных норм во время действия на него определенных факторов.

Функциональные испытания – испытания, проводимые с целью определения значений показателей назначения объекта.

Испытания на надежность – испытания, проводимые для определения показателей надежности в заданных условиях

Граничные испытания – испытания, проводимые для определения зависимостей между предельно допустимыми значениями параметров объекта и режимом эксплуатации.

Технологические испытания – испытания, проводимые при изготовлении продукции с целью оценки ее технологичности.

Отбраковочные испытания – испытания, проводимые для выявления и изъятия изделий со скрытыми дефектами.

Технологическая тренировка – этап технологического процесса изготовления изделия, предназначенный для стабилизации параметров и (или) выявления изделий со скрытыми дефектами воздействием температуры и (или) электрических нагрузок.

2. КОНТРОЛЬ

2.1. Общие понятия

Технический контроль – проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям.

Контроль качества продукции – контроль количественных и (или) качественных характеристик свойств продукции.

Оценивание качества продукции – определение значений характеристик продукции с указанием точности и (или) достоверности.

Объект технического контроля – подвергаемая контролю продукция, процессы ее создания, применения, транспортирования, хранения, технического обслуживания и ремонта, а также соответствующая техническая документация

Вид контроля – классификационная группировка контроля по определенному признаку.

Объем контроля – количество объектов и совокупность контролируемых признаков, устанавливаемых для проведения контроля.

Метод контроля – правила применения определенных принципов и средств контроля.

Метод разрушающего контроля – метод контроля, при котором может быть нарушена пригодность объекта к применению.

Метод неразрушающего контроля – метод контроля, при котором не должна быть нарушена пригодность объекта к применению.

Средство контроля – техническое устройство, вещество и (или) материал для проведения контроля.

Контролируемый признак – характеристика объекта, подвергаемая контролю.

Контрольный образец – единица продукции или ее часть, или проба, утвержденные в установленном порядке, характеристики которых приняты за основу при изготовлении и контроле такой же продукции.

Система контроля – совокупность средств контроля, исполнителей и определенных объектов контроля, взаимодействующих по правилам, установленным соответствующей нормативной документацией.

Автоматизированная система контроля – система контроля, обеспечивающая проведение контроля с частичным непосредственным участием человека.

Автоматическая система контроля – система контроля, обеспечивающая проведение контроля без непосредственного участия человека.

2.2. Виды контроля

Производственный контроль – контроль, осуществляемый на стадии производства.

Эксплуатационный контроль – контроль, осуществляемый на стадии эксплуатации продукции.

Входной контроль – контроль продукции поставщика, поступившей к потребителю или заказчику и предназначенной для использования при изготовлении, ремонте или эксплуатации продукции.

Операционный контроль – контроль продукции или процесса во время выполнения или после завершения технологической операции.

Приемочный контроль – контроль продукции, по результатам которого принимается решение о ее пригодности к поставкам и (или) использованию.

Инспекционный контроль – контроль, осуществляемый специально уполномоченными лицами с целью проверки эффективности ранее выполненного контроля.

Сплошной контроль – контроль каждой единицы продукции в партии.

Летучий контроль – контроль, проводимый в случайное время.

Непрерывный контроль – контроль, при котором поступление информации о контролируемых параметрах происходит непрерывно.

Периодический контроль – контроль, при котором поступление информации о контролируемых параметрах происходит через установленные интервалы времени.

Измерительный контроль – контроль, осуществляемый с применением средств измерений.

Регистрационный контроль – контроль, осуществляемый регистрацией значений контролируемых параметров продукции или процессов.

Органолептический контроль – контроль, при котором первичная информация воспринимается органами чувств.

Визуальный контроль – органолептический контроль, осуществляемый органами зрения.

3. КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ

3.1. Основные понятия

Качество продукции – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Показатель качества продукции – количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, входящих в ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации.

3.2. Показатели качества продукции

Единичный показатель качества продукции – показатель качества продукции, характеризующий одно из ее свойств.

Комплексный показатель качества продукции – показатель качества продукции, характеризующий несколько ее свойств.

Номинальное значение показателя качества продукции – регламентированное значение показателя качества продукции, от которого отсчитывается допускаемое отклонение.

Предельное значение показателя качества продукции – наибольшее или наименьшее регламентированное значение показателя качества продукции.

Допускаемое отклонение показателя качества продукции – отклонение фактического значения показателя качества продукции от номинального значения, находящееся в пределах, установленных нормативной документацией.

Базовое значение показателя качества продукции – значение показателя качества продукции, принятое за основу при сравнительной оценке ее качества.

Относительное значение показателя качества продукции – отношение значения показателя качества оцениваемой продукции к базовому значению этого показателя.

Регламентированное значение показателя качества продукции – значение показателя качества продукции, установленное нормативной документацией.

Оптимальное значение показателя качества продукции – значение показателя качества продукции, при котором достигается либо наибольший эффект от эксплуатации или потребления продукции при заданных затратах на ее создание и эксплуатацию или потребление, либо заданный эффект при наименьших затратах, либо наибольшее отношение эффекта к затратам.

3.3. Методы определения показателей качества продукции

Измерительный метод определения показателей качества продукции – метод определения значений показателей качества продукции, осуществляемый на основе технических средств измерений.

Регистрационный метод определения показателей качества продукции – метод определения показателей качества продукции, осуществляемый на основе наблюдения и подсчета числа определенных событий, предметов или затрат.

Расчетный метод определения показателей качества продукции – метод определения значений показателей качества продукции, осуществляемый на основе анализа восприятий органов чувств.

Органолептический метод определения показателей качества продукции – метод определения значений показателей качества продукции, осуществляемый на основе анализа восприятий органов чувств.

Экспертный метод определения показателей качества продукции – метод определения значений показателей качества продукции, осуществляемый на основе решения, принимаемого экспертами.

Социологический метод определения показателей качества продукции – метод определения значений показателей качества продукции, осуществляемый на основе сбора и анализа мнений ее фактических или возможных потребителей.

3.4. Оценка качества продукции

Оценка уровня качества продукции – совокупность операций, включающая выбор номенклатуры показателей качества оцениваемой продукции, определение значений этих показателей и сопоставление их с базовыми.

Статистический метод оценки качества продукции – метод оценки качества продукции, при котором значения показателей качества продукции определяют с использованием правил математической статистики.

Годная продукция – продукция, удовлетворяющая всем установленным требованиям.

Дефект – каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям.

Дефектное изделие – изделие, имеющее хотя бы один дефект.

Явный дефект – дефект, для выявления которого в нормативной документации, обязательной для данного вида контроля, предусмотрены соответствующие правила, методы и средства.

Брак – продукция, передача которой потребителю не допускается из-за наличия дефектов.

3. 5. Управление качеством продукции

Управление качеством продукции – действия, осуществляемые при создании и эксплуатации или потреблении продукции, в целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня ее качества.

Система управления качеством продукции – совокупность управляющих органов и объектов управления, взаимодействующих с помощью материально-технических и информационных средств при управлении качеством продукции.

Контроль качества продукции – проверка соответствия показателей качества продукции установленным требованиям.

Квалиметрия – область науки, предметом которой являются количественные методы оценки качества продукции.

3.6. Статистическое управление качеством продукции

Качество – совокупность свойств и признаков продукции или услуги, которые влияют на их способность удовлетворять установленные или предполагаемые потребности.

Обеспечение качества – совокупность планируемых и систематически выполняемых действий, требуемых для создания надлежащей уверенности в том, что продукция, процесс или услуга будет удовлетворять установленным требованиям к качеству.

Управление качеством – методы и виды деятельности оперативного характера, которые используют для выполнения требований к качеству.

Управление качеством процесса – та часть управления качеством, которая направлена на поддержание показателей качества продукции, процесса или услуги в установленных пределах.

Статистическое управление качеством – та часть управления качеством, в которой применяют статистические методы.

Примечания:

1. Эти методы включают в себя использование частотного распределения, мер центрирования процесса, рассеивания, контрольных карт, выборочного контроля, регрессионного анализа, критериев значимости и т.п.
2. Когда статистическое управление качеством применяют для управления ходом процесса, а не управления качеством поставляемых материалов, то часто применяют термин «статистическое управление процессом».

Уровень качества – любой относительный показатель качества, получаемый сравнением наблюдаемых значений с установленными требованиями.

Примечание – обычно это числовое значение, показывающее степень соответствия или несоответствия техническим условиям или целям выборочного контроля.

Показатель качества – количественная мера одного или большего числа признаков качества.

Примечания:

1. Для нормирования одного признака качества могут потребоваться два или более показателей качества.
2. Количественные меры признаков качества могут принимать различные формы, такие как результаты физических или химических измерений, процент продукции, не соответствующей техническим условиям, показатель дефектности и т.п. Меры признаков качества применяют в технических приложениях для представления требуемой аналитической информации, пригодной для целей управления или приемки. Некоторые из них используют для оценки соответствия отдельных объектов требованиям технических условий, в то время как другие – для интерпретации качества через проценты соответствующих или несоответствующих единиц продукции в партии и т. д.

Контроль – действия, такие как измерение, обследование, испытание и калибровка одного или нескольких показателей продукции или услуги и сравнение с установленными требованиями для определения соответствия.

Контроль процесса – проверка процесса путем обследования показателей самого процесса или признаков качества продукции на подходящих для этого стадиях процесса.

Приемочный контроль – контроль для определения того, приемлема ли поставленная или предполагаемая для поставки единица или партия продукции.

Сплошной контроль – контроль каждой единицы продукции или услуги в отличие от любого вида выборочного контроля.

Контролируемая партия – определенное число единиц продукции, материала или услуг, собранных вместе и представленных для испытания.

Примечание. Контролируемая партия может состоять из нескольких производственных партий или частей производственных партий.

Технические условия – документ, устанавливающий требования, которым должны удовлетворять продукция, процесс или услуга.

Номинальное значение – значение показателя, установленное в конструкторской документации или на чертеже.

Примечание. Это может быть целевое значение или размер, от которого допускаются отклонения в пределах установленного поля допуска.

Предельные значения; пределы поля допуска – установленные значения показателя, дающие верхнюю и (или) нижнюю границы допустимых значений.

Допуск – разность между наибольшим и наименьшим предельными значениями.

Поле (область) допуска – множество значений показателя между предельными значениями, включая последние.

Испытание – функциональная проверка или обследование одного или нескольких признаков единицы продукции при оказании на нее совокупности воздействий: физических, химических, окружающей среды или условий работы.

Выборочный контроль – проверка продукции или услуги с использованием выборок (в отличие от сплошного контроля).

Статистический приемочный контроль – выборочный контроль, после проведения которого принимают решение о приемке или отклонении партии (или другой совокупности продукции, материала или услуги) на основании результатов контроля выборки или выборок, отобранных из этой партии.

Примечания:

1. Часто альтернативой термину «приемка» для целей определения служит термин «отклонение». Однако на практике альтернативное действие приемке может иметь и другие формы, чем прямое отклонение.
2. При отборе выборок из последовательных партий приемка и отклонение связаны с отдельными партиями. При непрерывном контроле приемка и отклонение связаны с отдельными единицами продукции или их последовательными сериями в зависимости от принятой процедуры.

Приемочное число – наибольшее число несоответствий или несоответствующих единиц в выборке в плане выборочного контроля по альтернативному признаку, при котором допускается приемка партии.

Одноступенчатый (выборочный) контроль – выборочный контроль, при котором решение о приемке или отклонении партии в соответствии с определенными правилами принимают на основе результатов контроля, получаемых из одной выборки заранее определенного объема n .

Риск потребителя – при данном плане выборочного контроля вероятность приемки партии или процесса, когда их уровень качества имеет значение, признаваемое по плану неудовлетворительным, например, значение предельного уровня качества.

Риск поставщика (изготовителя) – для данного плана выборочного контроля вероятность отклонения партии, когда уровень качества партии или процесса имеет значение, признаваемое по плану приемлемым, например, значение приемлемого уровня качества.

3.7. Системы допускового контроля

Граница поля допуска – верхнее или нижнее предельное значение, ограничивающее область приемлемых значений контролируемой величины.

Допусковый контроль – процедура, результатом которой должно быть логическое суждение о принадлежности (непринадлежности) контролируемой величины заранее определенной области значений, заданной границами допуска.

Достоверность допускового контроля – количественный показатель, отражающий степень близости полученного результата допускового контроля к истинному значению.

Метрологическое обеспечение системы допускового контроля – установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения заданного уровня показателей достоверности допускового контроля.

Метрологическая экспертиза документации на систему допускового контроля – экспертиза документации на систему допускового контроля, заключающаяся в анализе и оценке технических решений по выбору методик измерений, средств измерений, решающих правил, границ допусков и метрологическому обеспечению системы допускового контроля.

Решающее правило – правило, в соответствии с которым принимают решение о результатах допускового контроля.

4. НАДЕЖНОСТЬ

4.1. Основные понятия

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Примечание. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Работоспособное состояние – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неработоспособное состояние – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Примечание. Для сложных объектов возможно деление их неработоспособных состояний. При этом из множества неработоспособных состояний выделяют частично неработоспособные состояния, при которых объект способен частично выполнять требуемые функции.

Исправное состояние – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неисправное состояние – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Повреждение – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Обслуживаемый объект – объект, для которого проведение технического обслуживания предусмотрено нормативно-технической документацией и (или) конструкторской (проектной) документацией.

Необслуживаемый объект – объект, для которого проведение технического обслуживания не предусмотрено нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией.

Восстанавливаемый объект – объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Невосстанавливаемый объект – объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния не предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Ремонтируемый объект – объект, ремонт которого возможен и предусмотрен нормативно-технической, ремонтной и (или) конструкторской (проектной) документацией.

Неремонтируемый объект – объект, ремонт которого не возможен или не предусмотрен нормативно-технической, ремонтной и (или) конструкторской (проектной) документацией.

Предельное состояние – состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Восстановление – процесс перевода в работоспособное состояние из неработоспособного состояния.

4.2. Виды отказов

Постепенный отказ – отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров объекта.

Внезапный отказ – отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких параметров объекта.

Явный отказ – отказ, обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования при подготовке объекта к применению или в процессе его применения по назначению.

Скрытый отказ – отказ, не обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования, но выявляемый при проведении технического обслуживания или специальными методами диагностики.

Ресурсный отказ – отказ, в результате которого объект достигает предельного состояния.

Независимый отказ – отказ, не обусловленный другими отказами.

Зависимый отказ – отказ, обусловленный другими отказами.

Конструктивный отказ – отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования.

Производственный отказ – отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии.

Эксплуатационный отказ – отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации.

Деградационный отказ – отказ, обусловленный естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.

Сбой – самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора.

Перемежающийся отказ – многократно возникающий самоустраняющийся отказ одного и того же характера.

4.3. Показатели надежности

Наработка – продолжительность или объем работы объекта.

Примечание. Нарботка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километраж пробега и т. п.), так и целочисленной величиной (число рабочих циклов, запусков и т. п.).

Наработка до отказа – наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.

Интенсивность отказов – условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

Показатель надежности – количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

Единичный показатель надежности – показатель надежности, характеризующий одно из свойств, составляющих надежность объекта.

Комплексный показатель надежности – показатель надежности, характеризующий несколько свойств, составляющих надежность объекта.

Расчетный показатель надежности – показатель надежности, значения которого определяются расчетным методом.

Экспериментальный показатель надежности – показатель надежности, точечная или интервальная оценка которого определяется по данным испытаний.

Эксплуатационный показатель надежности – показатель надежности, точечная или интервальная оценка которого определяется по данным эксплуатации.

Вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает.

Средняя наработка до отказа – математическое ожидание наработки объекта до первого отказа.

Средняя наработка на отказ – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

Резервирование – способ обеспечения надежности объекта за счет использования дополнительных средств и (или) возможностей, избыточных по отношению к минимально необходимым для выполнения требуемых функций.

Определение надежности – определение численных значений показателей надежности объекта.

Расчетный метод определения надежности – метод, основанный на вычислении показателей надежности по справочным данным о надежности компонентов и комплектующих элементов объекта, по данным о надежности объектов-аналогов, по данным о свойствах материалов и другой информации, имеющейся к моменту оценки надежности.

Ресурс – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ	8
1.1. Показатели качества ЭКБ	8
1.2. Контроль качества ИС	19
2. НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ	27
2.1. Основы надежности ИС	27
2.2. Оценка надежности ИС	32
2.3. Контрольные испытания	34
2.4. Определение справочных данных по надежности	38
3. СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ	43
4. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ	49
4.1. Системы управления качеством ИС на этапе разработки и изготовления	50
4.2. Системы управление качеством ИС на этапе применения (разработки и изготовления ЭВМ СН)	56
4.3. Системы управления качеством ИС на этапе эксплуатации (в составе ЭВМ СН)	63
4.4. Межотраслевая система управления качеством ИС	63
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	79
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	81
ПРИЛОЖЕНИЕ	86

Учебное издание

Иевлев Владимир Ильич
Филиппов Герман Александрович

**КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ
ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ЭВМ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Редактор и корректор *Д. А. Хрупало*

Подписано в печать 12.02.13. Формат 60x84 1/16.
Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. 5,92.
Уч.-изд. л. 5,2. Тираж 70 экз. Заказ 62

Редакционно-издательский отдел УрФУ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19
Отпечатано в учебной лаборатории полиграфических машин
кафедры «Детали машин»
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19, ауд. И-120